



Universidad  
Carlos III de Madrid

ÁREA DE MATERIALES

PROYECTO FIN DE CARRERA

# DISEÑO DE LA MODIFICACIÓN DE EQUIPOS DE FATIGA

**Autor:** Ignacio José Poyán Benito

**Tutor:** Dr. D. Miguel Ángel Martínez Casanova

Leganés, octubre de 2011





**TÍTULO:** Diseño de la modificación de equipos de fatiga.

**AUTOR:** Ignacio José Poyán Benito.

**TUTOR:** Dr. D. Miguel Ángel Martínez Casanova

### EL TRIBUNAL

**PRESIDENTE:** Dra. Dña Cristina Trujillo del Valle.

**SECRETARIO:** Dra. Dña. Evelyn Carol Paredes Cárdenas.

**VOCAL:** Dña. Lucía Blanco Cano.

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 28 de Octubre de 2011 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





---

## Agradecimientos:

Quisiera agradecer y otorgar el reconocimiento merecido a las aportaciones de todas las personas que me han ayudado a redactar el siguiente Proyecto, y que me han apoyado en todo momento.

Me gustaría dar las gracias especialmente:

A Dr. D. Miguel Ángel Martínez por guiarme en este Proyecto.

A Javier Fernández, ya que sin su ayuda este trabajo no habría podido tomar forma.

A Luis Muñoz, por sus consejos al diseñar las piezas de la máquina, y prestarme los materiales necesarios para su estudio.

A Lucía Blanco, por orientarme en la elaboración del Proyecto.

A mi padre por su ayuda en la redacción del mismo.

Agradecer también a mi familia y amigos por el apoyo moral que he recibido de ellos. Y a todas las personas que hayan puesto su granito de arena para realizar este trabajo.





## ÍNDICE GENERAL

Capítulo	Página
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.2 VIABILIDAD .....	4
1.3 ETAPAS EN EL DESARROLLO .....	5
1.4 MEDIOS CON LOS QUE SE HA CONTADO .....	6
1.5 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	7
<b>2. MÁQUINA DE ENSAYOS ORIGINAL .....</b>	<b>8</b>
2.1 DESCRIPCIÓN .....	8
2.2 ELEMENTOS.....	9
2.2.1 Plataforma y bastidor.....	9
2.2.2 Cuadro Eléctrico y Panel de control .....	10
2.2.3 Soporte fijo.....	11
2.2.4 Soporte móvil.....	12
2.2.5 Soportes del eje fijo .....	13
2.2.6 Motor .....	15
2.2.7 Conjunto de discos en la salida del motor .....	15
2.2.8 Biela .....	17
<b>3. NUEVO DISEÑO .....</b>	<b>18</b>
3.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	20
3.2 COMPONENTES QUE PERMANECEN EN EL NUEVO DISEÑO.....	22
3.3 COMPONENTES RETIRADOS .....	24
3.4 PRIMEROS PASOS.....	25
3.5 FASE 1 - DISEÑO CONCEPTUAL. PRIMEROS PROTOTIPOS.....	28
3.5.1 Prototipo - A.....	28
3.5.2 Mejora en voladizo .....	30
3.5.3 Prototipo - B.....	31
3.5.4 Prototipo - C.....	32
3.5.5 Propuestas de Diseño del Soporte Móvil .....	33
3.5.5.1 Soporte móvil - 1.....	33
3.5.5.2 Soporte móvil - 2.....	34
3.5.5.3 Soporte móvil - 3.....	36



## ÍNDICE GENERAL

Capítulo	Página
3.5.5.4 Soporte móvil - 4.....	38
3.5.6 Prototipo - D.....	40
3.6 FASE 2 - DISEÑO PRELIMINAR. PLANOS PRIMERAS PIEZAS .....	41
3.6.1 Soportes verticales .....	41
3.6.2 Pieza transversal superior .....	42
3.6.3 Guías .....	42
3.6.4 Piezas laterales del soporte móvil .....	43
3.6.5 Placa plana del soporte móvil.....	43
3.7 FASE 3 - REVISIÓN DEL DISEÑO CRÍTICO.....	44
3.8 PLANOS DE LAS PIEZAS FINALES .....	53
3.8.1 Bases para los soportes verticales .....	53
3.8.2 Soportes verticales .....	55
3.8.3 Escuadras para la unión del soporte vertical y su base .....	57
3.8.4 Pieza transversal superior .....	58
3.8.5 Guías .....	59
3.8.6 Piezas laterales del soporte móvil .....	61
3.8.7 Placa plana del soporte móvil.....	62
3.8.8 Placas planas para la retención de las probetas.....	63
4. MONTAJE.....	64
5. MANUAL DE USO .....	69
6. PRESUPUESTO .....	71
7. CONCLUSIONES.....	72
8. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO .....	74
9. BIBLIOGRAFÍA.....	75





## ÍNDICE FIGURAS

Descripción	Página
Figura 2-1. Máquina de Ensayos Original. ....	8
Figura 2.2.2-1. Panel de control del motor.....	10
Figura 2.2.3-1 Detalle placas fijación. ....	11
Figura 2.2.3-2. Dispositivo para recoger de datos.....	11
Figura 2.2.4-1. Soportes fijo y móvil.....	12
Figura 2.2.4-2.Despiece soportes fijo y móvil. ....	13
Figura 2.2.5-1. Soporte móvil. ....	14
Figura 2.2.5-2. Detalle unión biela-soporte móvil.....	14
Figura 2.2.7-1. Discos en la salida del motor.....	15
Figura 2.2.7-2. Detalle mecanizado disco grande. ....	16
Figura 2.2.8-1. Conjunto biela-disco pequeño. ....	17
Figura 3-1. Vista lateral izquierda y frontal de probeta para ensayos a tracción. ....	19
Figura 3.1-1. Diagrama Tensión-Deformación del acero. ....	21
Figura 3.2-1. Máquina con elementos retirados.....	23
Figura 3.4-1. Vista en Planta Esquemática de la Máquina. ....	26
Figura 3.4-2. Vista frontal esquemática de la máquina.....	27
Figura 3.5.1-1. Boceto Vista Lateral Prototipo A. ....	28
Figura 3.5.1-2. Boceto Vista Tridimensional Prototipo A. ....	29
Figura 3.5.2-1. Mejora en voladizo.....	30
Figura 3.5.3-1. Vistas lateral y planta del prototipo B. ....	31
Figura 3.5.4-1. Prototipo C. ....	32
Figura 3.5.5-1. Boceto de Soporte Móvil 1. ....	34
Figura 3.5.5.2-1.Boceto soporte móvil - 2.....	35
Figura 3.5.5.2-2. Boceto pieza soporte fijación inferior probetas. ....	35
Figura 3.5.5.3-1. Boceto soporte móvil-3.....	36
Figura 3.5.5.3-2. Pieza Ajuste en Longitud del Soporte Móvil. ....	37
Figura 3.5.5.4-1. Boceto soporte móvil-4.....	38
Figura 3.5.6-1. Vista tridimensional del prototipo D.....	40
Figura 3.6-1. Vista frontal y lateral de soportes verticales. ....	41
Figura 3.6-2. Vista frontal y lateral de la pieza transversal superior. ....	42
Figura 3.6-3. Vista frontal y lateral de las guías.....	42
Figura 3.6-4. Pieza lateral del soporte móvil.....	43



## ÍNDICE FIGURAS

Descripción	Página
Figura 3.6-5. Placa plana del soporte móvil.....	43
Figura 3.7-1. Boceto de cambios en los soportes verticales.....	44
Figura 3.7-2. Soporte móvil y bulón. ....	45
Figura 3.7-3. Detalle boceto vista lateral máquina de fatiga a tracción. ....	47
Figura 3.7-4. Boceto vista frontal máquina de fatiga a tracción. ....	48
Figura 3.7-5. Boceto montaje compacto de máquina fatiga tracción.....	49
Figura 3.7-6. Boceto vista tridimensional máquina de fatiga a tracción.....	50
Figura 3.7-7. Diagrama estudio de cargas y esfuerzos. ....	51
Figura 3.8.1-1. Vista en planta y frontal de la base de los soportes verticales.....	54
Figura 3.8.2-1 Vista frontal y de la base de los soportes verticales.....	56
Figura 3.8.3-1 Escuadras. Vistas frontal, lateral y base de la escuadra. ....	57
Figura 3.8.4-1 Vistas frontal y lateral de la pieza transversal superior. ....	58
Figura 3.8.5-1. Vistas lateral, frontal y planta de las guías. ....	60
Figura 3.8.6-1. Vistas frontal y lateral de las piezas laterales del soporte móvil. ....	61
Figura 3.8.7-1 Vistas frontal y lateral de la placa plana del soporte móvil. ....	62
Figura 3.8.8-1 Vistas frontal y lateral de las placas planas para la retención de las probetas. ....	63
Figura 4-1 Vista lateral guía.....	65
Figura 4-2 Vista lateral conjunto sin guía ni soporte móvil.....	66
Figura 4-3 Vista frontal conjunto sin soporte móvil.....	67
Figura 4-4 Vista lateral soporte móvil. ....	68
Figura 4-5 Vista frontal soporte móvil.....	68
Figura 5-1 Gáfica: errores en la medida del desplazamiento de la biela. ....	69

## ÍNDICE TABLAS

Descripción	Página
Tabla 2.2.6-1 Características del motor. ....	15
Tabla 5-1 Valores indicado y real de la escala graduada. ....	70
Tabla 6-1 Presupuesto.....	71



---

# RESUMEN

El presente Proyecto Final de Carrera versa sobre la modificación del diseño original de una máquina de ensayos, cuya función es la de realizar ensayos de fatiga a flexión sobre unas probetas. Esta máquina se va a adaptar a un nuevo uso que será el de realizar ensayos de fatiga a tracción sobre otro tipo de probetas.

Para el nuevo diseño se parte de la máquina de ensayos de fatiga a flexión ya existente en los talleres de la Universidad Carlos III de Leganés, ampliando su uso, para que mediante las modificaciones pertinentes, realice sobre las probetas ensayos de fatiga a tracción. Este esfuerzo debe ser aplicado de forma cíclica, y manteniendo constante a lo largo del ensayo la elongación a la que se verán sometidas las probetas que se fijen en la máquina.

En la primera parte del Proyecto, se explica al lector el funcionamiento de la máquina original y de los elementos que la componen. Con ello se pretende acercarlo a la toma de decisiones que justifican en el nuevo diseño la conservación de algunos elementos y la retirada de otros.

Para obtener el diseño final, se han dibujado varios prototipos que se adaptan al objetivo perseguido, y forman parte del diseño conceptual del nuevo equipo. Se han estudiado individualmente dichos prototipos, evaluando tanto sus puntos a favor como sus puntos en contra. De entre todos ellos, se ha optado por seleccionar las ideas que aportan las soluciones más convenientes al propósito del Proyecto.

Para conseguir alcanzar el diseño crítico que finalmente pueda ser fabricado e instalado, se ha necesitado equilibrar el desarrollo desde el punto de vista de la fabricación, del montaje y de la estabilidad del conjunto cuando éste se ponga en marcha. Con el diseño finalmente decidido, se han elaborado los planos de las piezas que lo componen, y se ha elaborado un presupuesto que muestra el coste de fabricación de las piezas.

El montaje de estas piezas es un tema que se aborda en otro apartado, donde se detalla la forma en que estas piezas deben ser ubicadas, y cómo deben unirse para que el equipo tenga un funcionamiento correcto.

Se incluyen, las conclusiones que se han obtenido a lo largo del Proyecto, y un breve resumen sobre el manual de uso de la máquina de ensayos que será de utilidad para la adecuada manipulación y puesta en marcha.

Por último destacar la importancia que se ha otorgado en el diseño de la nueva máquina a la reversibilidad, para que indistintamente en cualquier momento se pueda volver a configurar la máquina y realice ensayos de fatiga a flexión o tracción.



---

# ABSTRACT

The following Thesis is about the redesign that should be done on a bending fatigue testing machine to obtain another machine that studies the specimens by its tensile fatigue.

Changes need to start from the original testing machine, making use of the largest number of elements contained in it so that they can be applied in the new design.

An explanation of how the original machine operates must be done before starting to detail the new design. This is intended to get the reader to comprehend how the testing machine works, and thus will make him understand why some elements have been removed, whereas others have been retained in the new design.

Several prototypes have been drawn in the conceptual design, and they have been individually analysed to choose their best ideas to assess the profits or its drawbacks.

The assembly of the parts is another section that indicates how the pieces should be placed so that the mechanism operates properly.

It is also included a brief summary of the user manual that will be helpful for a correct operation and start-up.

At the end of the document conclusions are presented as a result of the development undertaken to complete this Thesis.

One of the objectives has been that the machine must keep its functions reversible, so whenever it is necessary, it will be possible to change its function by using the bending fatigue test configuration or the tensile one.

# 1.INTRODUCCIÓN

El propósito de este Proyecto de Final de Carrera es el de rediseñar una máquina ya existente que realiza ensayos de fatiga a flexión sobre las probetas, para conseguir mediante la fabricación y posterior montaje de sus piezas, otra máquina de ensayos que estudie las probetas a través de su fatiga a flexión.

## 1.1 OBJETIVOS

El Proyecto de Final de Carrera que se presenta tiene como objetivo rediseñar una máquina que realiza ensayos de fatiga a flexión sobre las probetas para que, tras la modificación, se puedan estudiar según su fatiga a tracción.

El primer paso es el de estudiar el funcionamiento de la máquina original para que las modificaciones que se hagan estén justificadas. Se van a aprovechar el mayor número de elementos existentes en esta máquina, dado que de esta forma se evita la fabricación innecesaria de nuevas piezas.

Los nuevos cambios deben introducir variaciones en:

- ✗ La configuración del nuevo mecanismo para que transmita esfuerzos de tracción a las probetas.
- ✗ Los soportes donde se fijarán las probetas. Esto se debe a que ha cambiado la geometría de las mismas (p.ej. longitud), y al nuevo tipo de esfuerzos que les serán aplicados, no pudiendo permanecer por tanto en la misma posición.

Los esfuerzos deben continuar siendo cíclicos y el movimiento que se aplique elongará las probetas de forma constante durante todo el ensayo. Asimismo, se diseña la nueva máquina para que, con la nueva funcionalidad, el único esfuerzo que se aplique a las probetas sea el de tracción, eliminando posibles excentricidades y movimientos perjudiciales que generen esfuerzos inadecuados para el estudio que se debe que llevar a cabo.

Para el diseño de las piezas que componen la máquina se siguen criterios que buscan la facilidad de fabricación de sus piezas, que mantengan a su vez el conjunto estructuralmente estable sin que conlleve un complejo montaje. Para ello se usan formas geométricas sencillas que no comprometan la seguridad de los ensayos, y se busca las mejores soluciones para mitigar las concentraciones de tensión que pueden aparecer en las piezas durante los mismos. Siguiendo estos criterios, se posibilita la fabricación de las piezas con los equipos disponibles en los talleres de la Universidad Carlos III. Simplificar el diseño de este nuevo mecanismo permite a su vez poder montar y desmontar la máquina, y fabricar recambios de sus elementos con rapidez si ello fuera necesario.

En el proceso para obtener un diseño final, se dibujan varios bocetos sobre los cuales se estudian los pros y los contras de cada una de las piezas que los componen, así como del desempeño global del mecanismo, realizando desde pequeños cambios en los bocetos, a variaciones conceptuales de los mismos.

En todo momento se ha mantenido la reversibilidad de funciones de la máquina, permitiendo realizar en ésta tanto ensayos de fatiga a tracción, como volver a efectuar estudios de fatiga a flexión mediante la simple sustitución de las piezas que lleven de una configuración a otra.



### 1.2 VIABILIDAD

El material del mecanismo será el acero (o acero inoxidable en el caso de los tornillos o bulones que aseguran las uniones de las piezas). La elección de dicho material tiene su fundamento en los siguientes puntos, que convierten en la mejor opción:

- ✖ Facilidad en su suministro.
- ✖ El acero es un material con mecanizado posible en las máquinas (o equipos) de trabajo de los talleres de la Universidad. Soporta bien el mecanizado.
- ✖ El presupuesto para la fabricación de las piezas se detalla en el capítulo 7, y los gastos corren a cuenta de la Universidad Carlos III.
- ✖ El peso del material en la mayoría de las piezas no impide el correcto desarrollo de los ensayos ya que están fijadas sobre la base de la máquina, y las que son masa suspendida no perjudican de forma apreciable el funcionamiento.
- ✖ La alta resistencia que ofrece frente a los esfuerzos a los que se ven sometidas sus piezas.

Uno de los problemas que pueden aparecer con la máquina en funcionamiento es el de la fricción entre las partes que están en contacto. Para solventar este inconveniente se aplicará entre ambas superficies un lubricante que facilite el desplazamiento entre esas zonas.

Otro de los puntos a tener en cuenta durante el diseño son las vibraciones de la máquina, pero debido a las dimensiones de las piezas, las cuales son capaces de soportar los esfuerzos a los que se ven sometidas, y a la resistencia del acero así como de las uniones, se han despreciado los efectos que éstas pueden tener durante los ensayos.



### 1.3 ETAPAS EN EL DESARROLLO

Antes de empezar a diseñar cualquier parte de la nueva máquina, se estudia el funcionamiento de la máquina original para decidir qué elementos deben ser retirados, y cuales pueden permanecer o ser modificados para formar parte de la nueva máquina. En esta primera etapa es fundamental la toma de medidas de los componentes de la máquina, tanto de forma individual como en su conjunto; puesto que para emplazar las nuevas piezas es necesario conocer los lugares donde pueden ir colocadas, y con ello determinar su geometría.

En la segunda etapa de desarrollo se diseñan los prototipos que pueden hacer las nuevas funciones de la máquina para aplicar a las probetas ensayos de fatiga a tracción. Para ello se evalúan los puntos a favor o en contra, y se seleccionan de esta forma los que permiten fabricar una máquina que cumple con los objetivos planteados. Se debe valorar la facilidad para la fabricación de las piezas, la sencillez en su montaje y que éste mantenga la rigidez del conjunto para obtener un funcionamiento que resulte fluido y sea preciso, sin descuidar el coste total del Proyecto.

Este proceso se divide en tres partes:

- ✗ Diseño conceptual: Primeros prototipos e ideas
- ✗ Diseño preliminar: Prototipo o modelo definido a partir de los conceptuales.
- ✗ Diseño crítico: Último diseño sobre el que se realizarán pequeñas modificaciones hasta obtener el diseño final.

Para trabajar con la máquina, la tercera etapa indica cómo hacer un buen montaje de la misma.

La cuarta y última etapa de desarrollo explica brevemente un manual de uso de la máquina de ensayos nueva.



---

## 1.4 MEDIOS CON LOS QUE SE HA CONTADO

Se hace una enumeración de aquellos medios que han servido para elaborar la presente tesis.

- ✖ Máquina de ensayos de fatiga a flexión existente en los talleres de la Universidad Carlos III de Leganés.
- ✖ Calibre y metro para la medida de las longitudes de la máquina y de sus elementos que ha sido facilitado por la propia Universidad.
- ✖ Herramientas para montar o desmontar la máquina: llave fija, destornillador plano, llaves Allen.
- ✖ Soporte gráfico: Cámara fotográfica digital.
- ✖ Hardware: Ordenador personal.
- ✖ Sistema Operativo: *Windows7*
- ✖ Software de diseño: *AutoCAD 2007*.
- ✖ Software documentos: *Microsoft Office Word 2007*.





---

### 1.5 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El documento está dividido en nueve partes:

- × Capítulo 1, contiene una visión general del documento, la posibilidad para llevar a cabo el Proyecto y los medios que han sido necesarios para elaborarlo.
- × Capítulo 2, explica el funcionamiento de la máquina de ensayos de fatiga a flexión, y se describen sus componentes.
- × Capítulo 3, comenta el desarrollo seguido, las piezas empleadas y su configuración para obtener el modelo final que constituya la máquina de ensayos de fatiga a tracción.
- × Capítulo 4, en él se describe el montaje necesario para hacer funcionar el nuevo equipo.
- × Capítulo 5, proporciona un breve manual para el correcto uso de la máquina de ensayos.
- × Capítulo 6, se desglosan los costes de fabricación de las piezas.
- × Capítulo 7, se exponen las conclusiones extraídas tras terminar el Proyecto.
- × Capítulo 8, se da información sobre cómo mejorar los ensayos en un futuro, y se proponen soluciones ante posibles problemas que puedan aparecer.
- × Capítulo 9, se incluyen las fuentes de información de donde se han extraído datos.

## 2. MÁQUINA DE ENSAYOS ORIGINAL

### 2.1 DESCRIPCIÓN

La máquina original está diseñada para realizar ensayos sobre probetas de manera que éstas se vean sometidas a repetidos esfuerzos de flexión, pudiendo de esta manera estudiar su fatiga ante tales esfuerzos. Para ello se fijan las probetas en unos soportes, y se aplica el movimiento que las hace flexionar a través de una biela que está conectada a un motor. Los datos del ensayo son recogidos por el panel de control que está conectado a la propia máquina, y son transferidos a un ordenador para su posterior estudio. En la Figura 2-1 aparece la máquina de ensayos original.

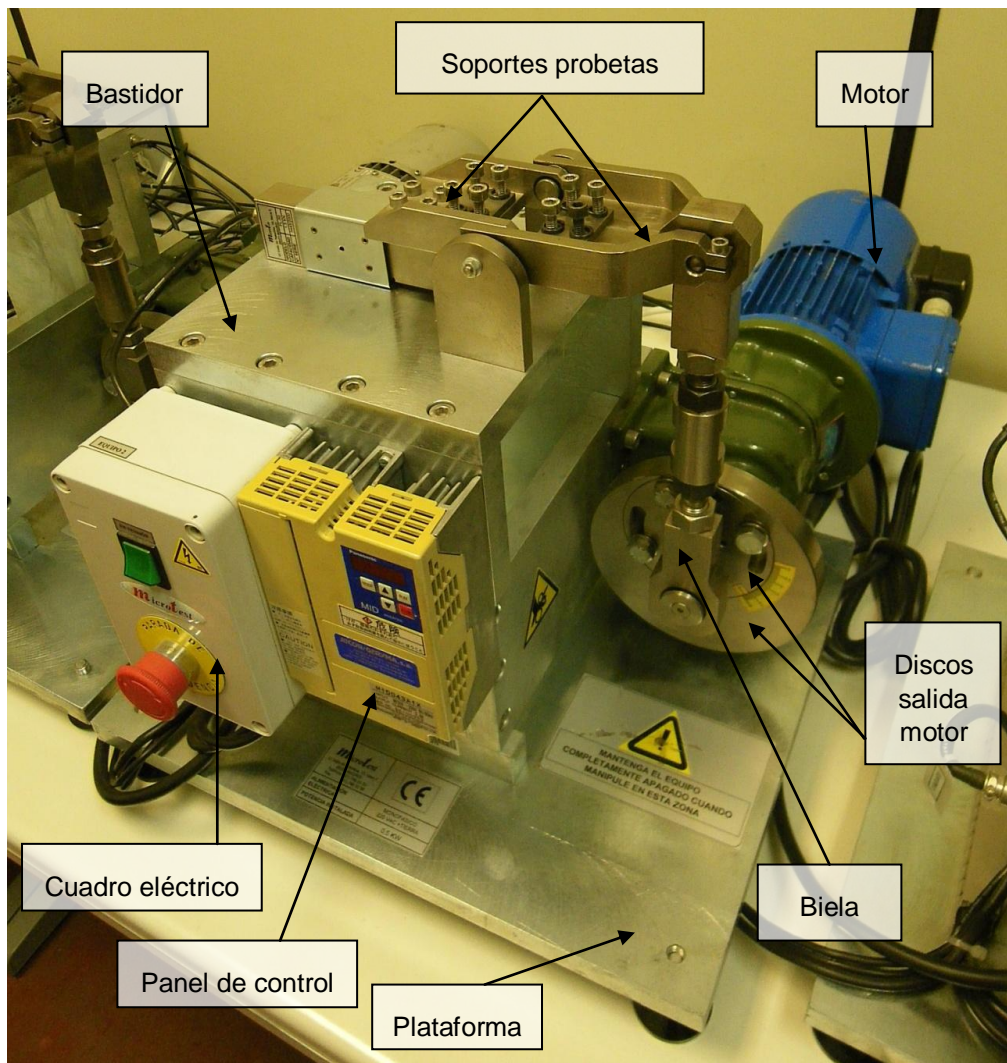


Figura 2-1. Máquina de Ensayos Original.



## 2.2 ELEMENTOS

### 2.2.1 Plataforma y bastidor

Con el fin de explicar las piezas que componen la máquina, así como el funcionamiento y disposición de las mismas; se indica en primer lugar cómo es la base de la máquina sobre la que se fijan los elementos que constituyen el mecanismo. Esta base está formada por una plataforma rectangular, y sobre ella se atornilla un bastidor con forma cúbica. Ambos aparecen en la Figura 2-1.

La plataforma es una pieza de fundición que dispone de la superficie necesaria para que sobre ella se coloquen los dispositivos que componen la máquina, de forma que las proyecciones de las mismas queden contenidas en la plataforma (a excepción del motor cuyas dimensiones sobresalen de ella). Las dimensiones de la plataforma son 380x443mm y 20mm de grosor.

Los soportes que se encargan de fijar las probetas se encuentran sobre el bastidor y en la biela. Comenzando por el bastidor, éste posee 292'5mm de altura, 220'5mm de ancho y 210mm de profundidad; está formado por tres planchas de acero que se atornillan entre sí y que a su vez se unen sobre la plataforma, obteniendo un prisma cúbico con las medidas indicadas, siendo el grosor de cada plancha de acero de 20mm de grosor. Tanto la parte frontal como la trasera carecen de dicha pared, lo que reduce el peso, y facilita el trabajo permitiendo mayor accesibilidad a distintas partes de la máquina. En concreto, el inmediato acceso a la pared superior del cubo, permite el montaje de las piezas que deben atornillar en esa parte. Pero el principal motivo por el que el bastidor de la máquina es un prisma y no se colocan las piezas directamente sobre la plataforma, es por la posición que ocupan el motor y la biela. El motor se encuentra a media altura de la cara frontal del cubo, y en el eje de salida hay un conjunto de discos a los que se une la biela. La mejor forma de colocar las piezas para conseguir ensayos a flexión es colocando las probetas de forma horizontal, y la biela que transmite el movimiento en posición vertical. Con esto se consigue el efecto de palanca necesario para hacer flexionar las probetas, y por otra parte, con esta disposición se consigue ocupar un menor espacio en superficie en comparación a si se colocase la biela en horizontal y las probetas en vertical. Esa última disposición hace que la máquina sufra un esfuerzo añadido en el eje de salida del motor, y la explicación está en que a tener el peso de la biela a lo largo de la horizontal en lugar de estar alineado verticalmente con el eje, se genera un momento en la unión de la biela con el motor para soportar este peso.

### 2.2.2 Cuadro Eléctrico y Panel de control

En una cara lateral del bastidor se observa un dispositivo donde se encuentra la seta de parada de emergencia, el botón de encendido/apagado, y un panel de control desde donde dar instrucciones al motor. Desde éste panel se puede controlar tanto la velocidad de giro como el tiempo de funcionamiento del motor.

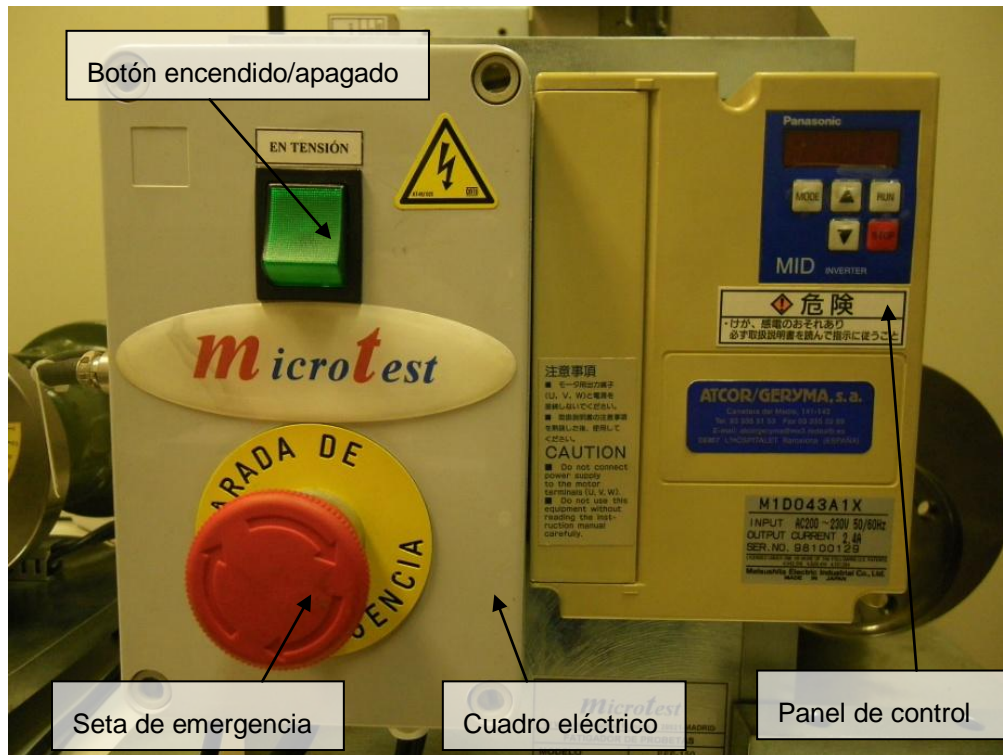


Figura 2.2.2-1. Panel de control del motor.



### 2.2.3 Soporte fijo

Las piezas que forman el soporte fijo constan de un soporte con una superficie plana horizontal sobre la que se coloca una placa de fijación. Sobre ella que se coloca un extremo de las probetas que quedará inmovilizado mediante otra placa que se coloca encima. Éstas placas son de acero con 37x27mm de superficie y 5mm de espesor la superior, y 3mm de espesor la inferior. Se emplean unos tornillos para la inmovilización de las probetas, los cuales las atraviesan (ver Figura 2.2.3-1).

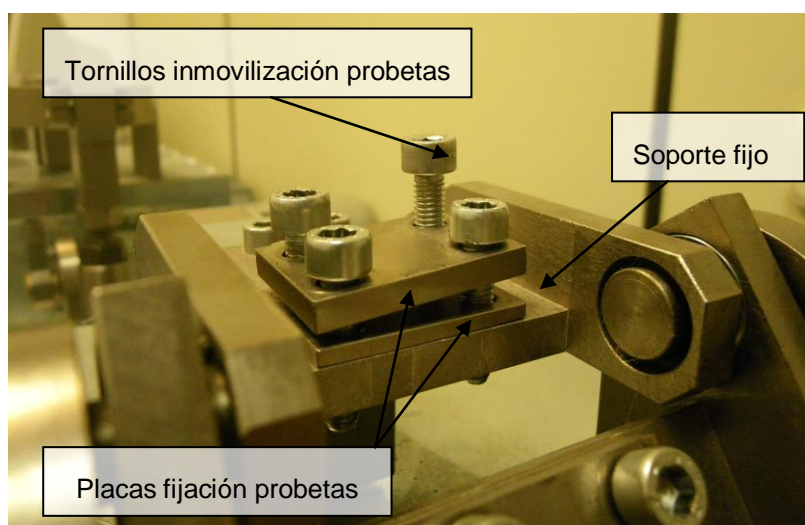


Figura 2.2.3-1 Detalle placas fijación.

El soporte fijo se une al bastidor a través de un dispositivo que recoge datos del ensayo los transmite al panel de control, y posteriormente son transferidos y estudiados en un ordenador.

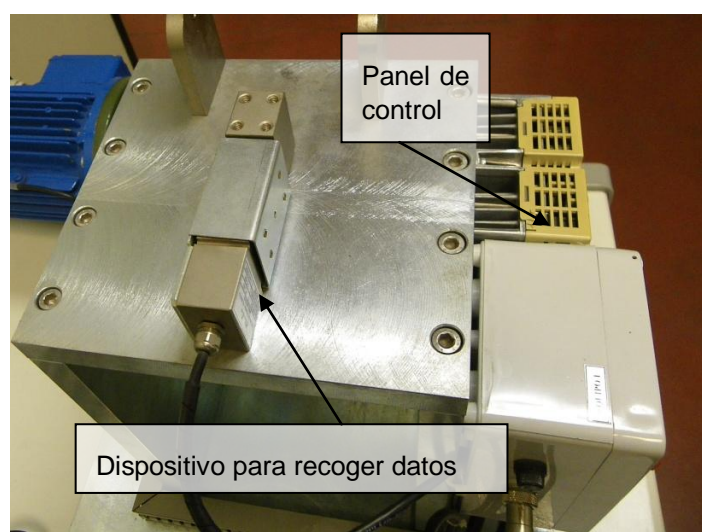


Figura 2.2.3-2. Dispositivo para recoger de datos.

#### 2.2.4 Soporte móvil

En el soporte fijo quedan las probetas unidas por un extremo dejando libre el opuesto, el cual se debe unir al soporte móvil. Ésta es la pieza intermedia que enlaza el soporte fijo con la biela, uniéndose a esta por medio de un eje o bulón móvil, cuyo desplazamiento es el de la cabeza de la biela. En las siguiente Figura 2.2.4-1 se muestra cómo se fijan las probetas sobre sus soportes (fijo y móvil). Así como en la Figura 2.2.4-2 donde aparece el conjunto despiezado.

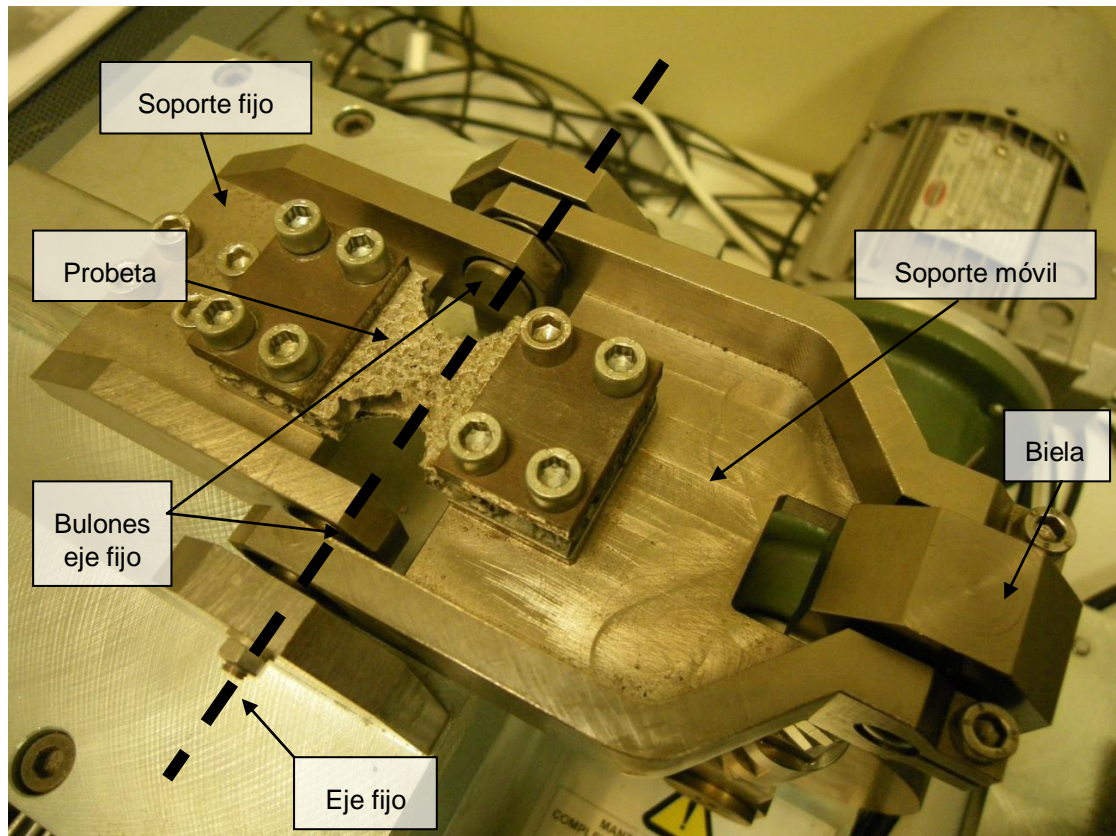


Figura 2.2.4-1. Soportes fijo y móvil.

Las probetas se aprecian bien en la imagen superior, en la cual se muestra cómo son atravesadas por los tornillos que las fijan a la máquina. Las dimensiones de estas probetas son de 37x81mm y un espesor que varía en función de la probeta que se coloque.

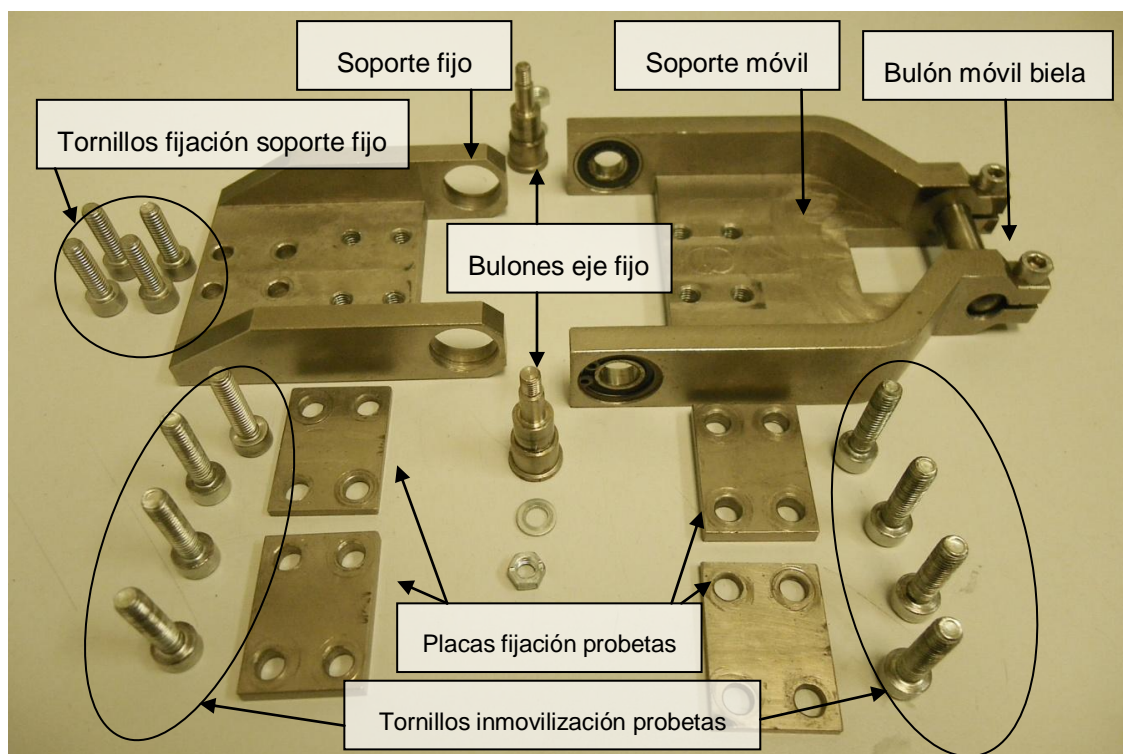


Figura 2.2.4-2.Despiece soportes fijo y móvil.

Para unir las probetas a este soporte móvil, existen otras placas con el mismo tamaño que en el soporte móvil (ver Figura 2.2.3-1) que retienen las probetas de la misma manera.

### 2.2.5 Soportes del eje fijo

Para conseguir transmitir los esfuerzos procedentes del movimiento vertical de la biela, se necesita un eje en torno al cual se consigue el giro necesario para que las probetas flecten. Este eje se mantiene estable gracias a unas piezas verticales que están atornilladas al bastidor y que se sitúan a ambos lados de los soportes donde se colocan las probetas (el fijo y el móvil). Los soportes a los que se hace referencia se distinguen por tener la parte superior con forma semicircular y se pueden ver en la Figura 2.2.5-1, y el eje fijo que pasa por estos soportes está alineado con el centro de las probetas que se fijan a la máquina, siendo esta parte de las probetas la que sufrirá las flexiones inducidas por la propia máquina. La flexión de las probetas se produce en ambos sentidos doblándose éstas un número de grados que estará determinado por el recorrido vertical de la biela, y que se habrá establecido antes de comenzar el ensayo.

El giro del eje se consigue gracias a unos bulones (que se aprecian con detalle en la anterior Figura 2.2.4-2, y que también se señalan en la Figura 2.2.5-1 de abajo) que mantienen el movimiento relativo de la parte móvil con respecto a la parte fija, dicho movimiento puede asemejarse al movimiento que tiene una bisagra, siendo el eje de ésta el que pasa por el centro de la probeta.



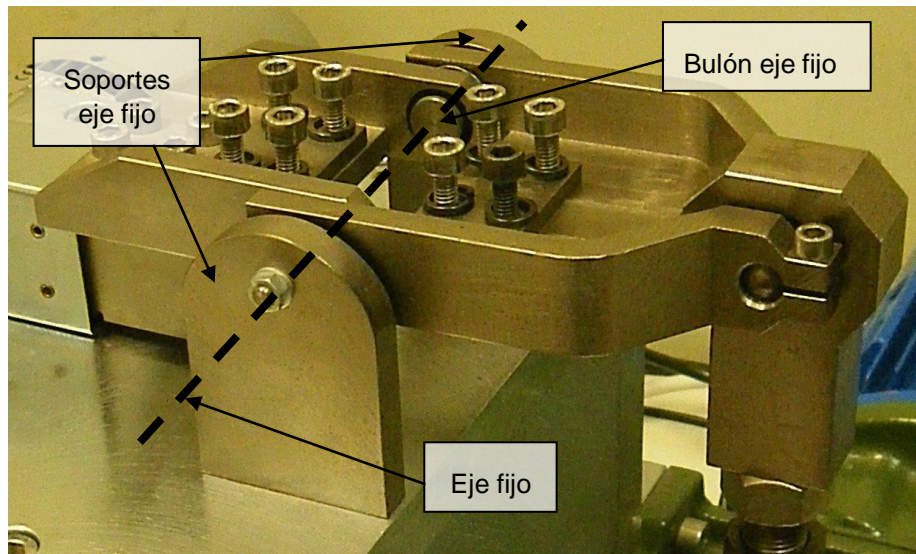


Figura 2.2.5-1. Soporte móvil.

El soporte móvil sobre el que se fija el extremo móvil de la probeta, mantiene la distancia entre el eje fijo (ver Figura 2.2.5-1), y el bulón móvil (ver Figura 2.2.5-2) que mantiene unida esta pieza y la biela. Como consecuencia, la parte superior de la biela no puede tener un movimiento vertical lineal perfecto, y es que al estar unida al soporte móvil, se ve obligada a describir un arco cuyo radio es la distancia entre el eje fijo que pasa por los soportes del propio eje fijo y el bulón móvil que une la biela con el soporte móvil; siendo esta distancia de 99mm. El centro del arco que se describe se encuentra en el eje fijo que se ha citado. En la siguiente imagen se aprecia el bulón móvil que une la biela con el soporte móvil.

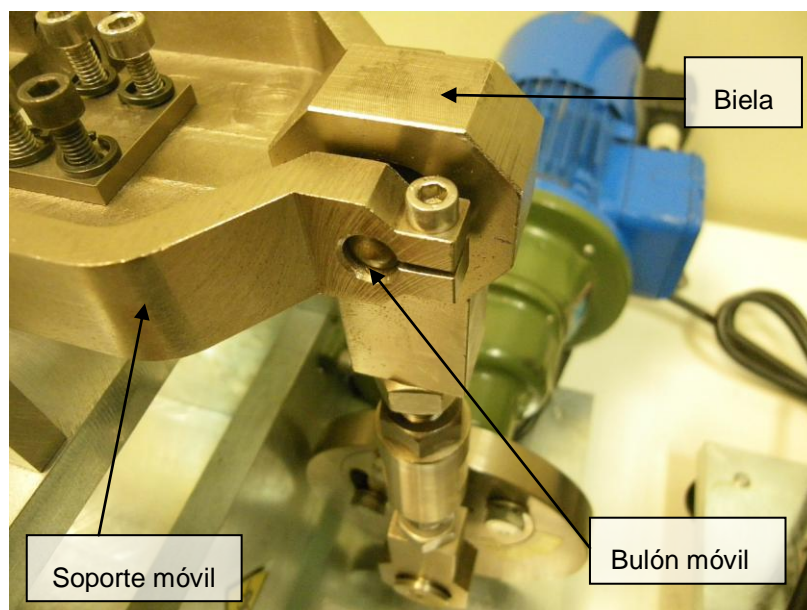


Figura 2.2.5-2. Detalle unión biela-soporte móvil.



### 2.2.6 Motor

La máquina posee un motor que genera el movimiento necesario, y que se encuentra atornillado a una placa de 265x140x20mm que está en la cara frontal del bastidor. Las características de este motor son:

Tabla 2.2.6-1 Características del motor.

Marca	Modelo	Motor N°	Potencia (kW)	RPM
Crompton Greaves	FR ADY1D	1243N20D NCH 0208	0.37	1350

El motor es trifásico. Con dos posibles tipos de alimentación a 220/380V 50 Hz.

### 2.2.7 Conjunto de discos en la salida del motor

La siguiente Figura 2.2.7-1, muestra cómo en la salida del motor se coloca un mecanismo del tipo biela-manivela en donde la manivela se sustituye por un conjunto de discos que son capaces de generar una excentricidad regulable que la manivela no es capaz de ofrecer.

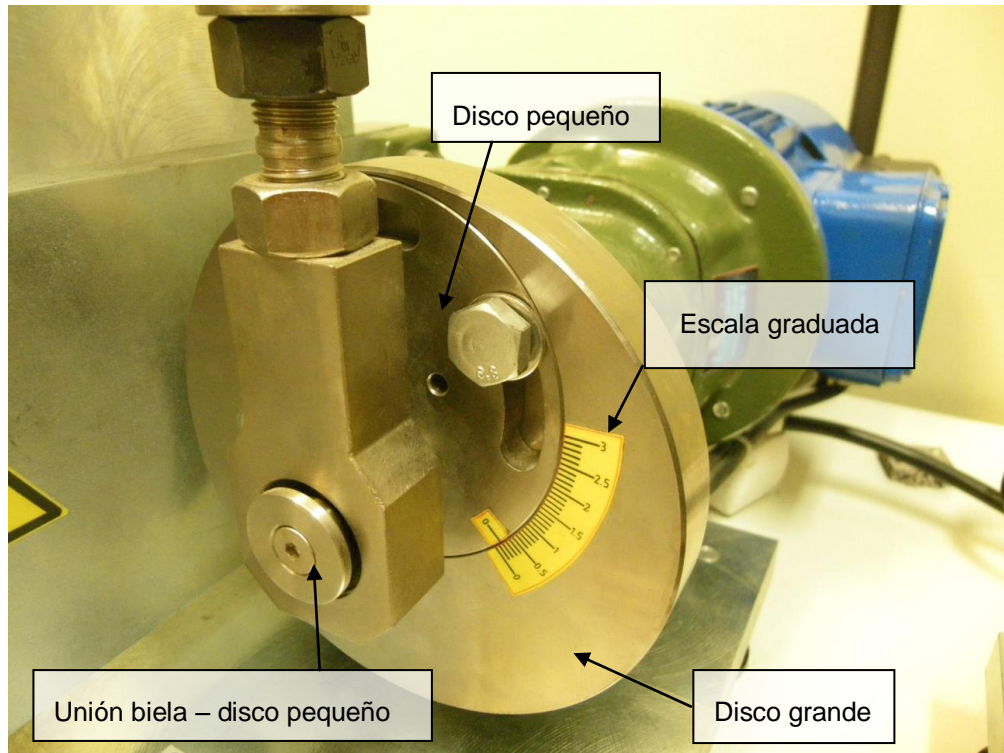


Figura 2.2.7-1. Discos en la salida del motor.

Para explicar el funcionamiento del mecanismo indicado se comienza por el eje de salida del motor, en donde se coloca un disco de 19.9mm de grosor y 152.85mm de diámetro cuyo centro está alineado con el eje del motor y gira de forma solidaria con éste. La pieza que se describe ha sido mecanizada de tal forma que se ha dejado un espacio en su interior para poder colocar otro disco más pequeño de 10mm de grosor, y 100mm de diámetro, y cuyo centro no está alineado con el eje del motor, siendo ésta la primera excentricidad que aparece. La Figura 2.2.7-2 que está a continuación, muestra el mecanizado que posee el disco grande.

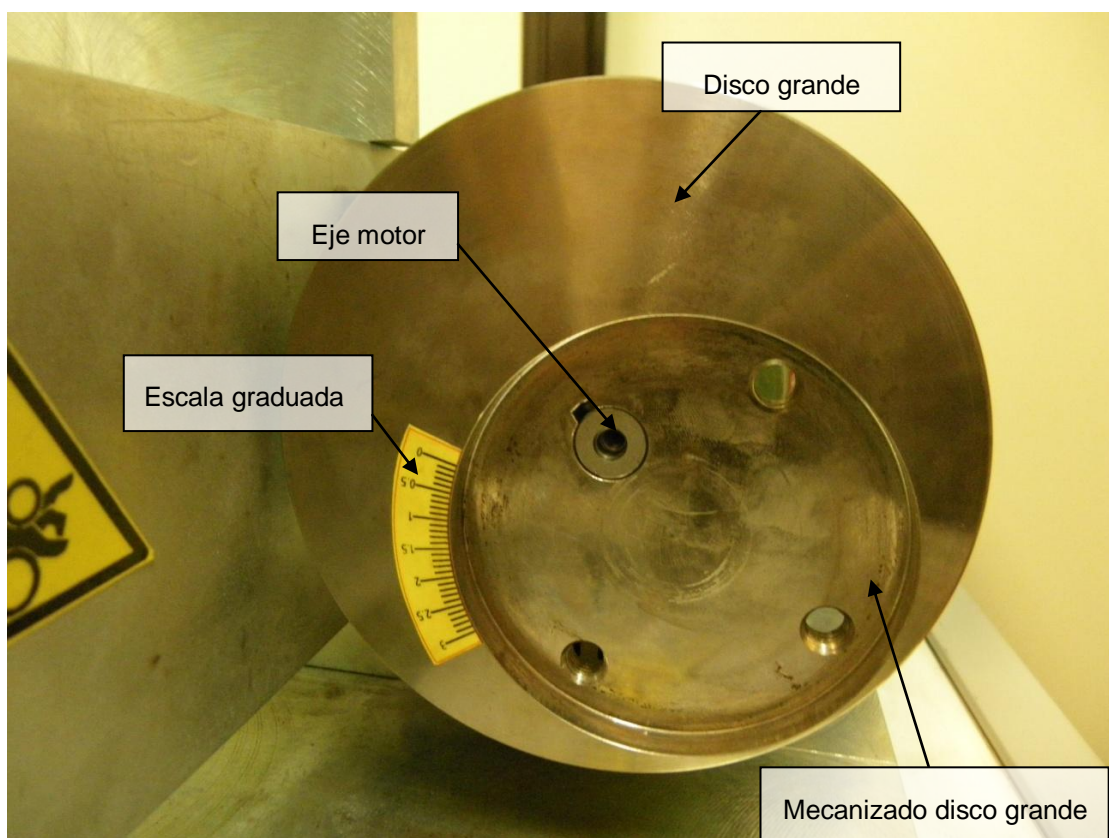


Figura 2.2.7-2. Detalle mecanizado disco grande.

Es en este disco pequeño, y en un punto alejado del centro del mismo, donde se coloca la biela mediante un rodamiento que permite el movimiento entre ambos. La distancia a la que se coloca la biela forma la segunda excentricidad, y ésta disposición es la que permite regular el recorrido de la biela. Girando el disco pequeño, se puede alejar o acercar la zona de unión de la biela con el centro del disco grande, pudiendo llegar a estar alineados. Cuanto más alejado esté el centro del disco grande de la unión de la biela con disco pequeño, mayor será el desplazamiento vertical que se consiga en la biela. Y al contrario, cuanto más cerca esté el centro del disco grande de la unión de la biela con el disco pequeño, menor será el desplazamiento vertical, llegando a ser nulo si se alinean.

### 2.2.8 Biela

Para acabar con la descripción de la máquina de ensayos original, se va a describir la biela, y es que siendo el último elemento de los que transforman un movimiento circular en uno vertical, se debe apreciar cómo el tamaño de la biela está ajustado para alcanzar la altura propicia que permita los movimientos necesarios para realizar los ensayos a flexión. Se observa en la siguiente Figura 2.2.8-1 cómo a lo largo de la misma hay varios cambios en su sección, los cuales muestran las diferentes piezas que se han tenido que unir y que se han ajustado para conseguir la longitud idónea que permita realizar los ensayos. En la parte más baja aparece el disco pequeño al que se une la biela y que permite regular el recorrido vertical de ésta.

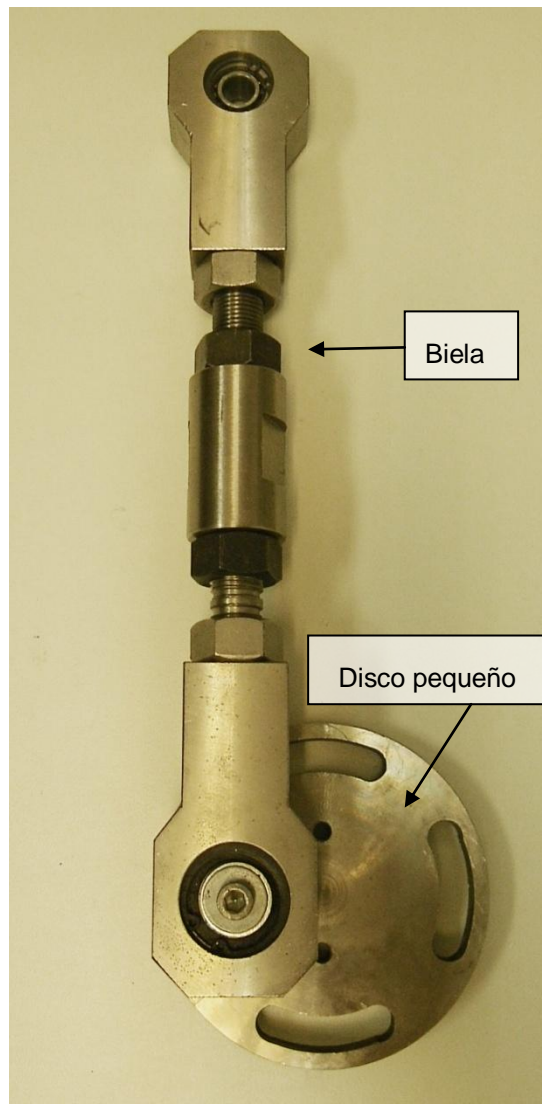


Figura 2.2.8-1. Conjunto biela-disco pequeño.

### 3. NUEVO DISEÑO

El nuevo mecanismo que se diseña debe estudiar las probetas según su fatiga a tracción, para lo cual se van a posicionar verticalmente aprovechando así la anterior disposición del motor, la biela y el bastidor. Las probetas unirán su extremo superior a un soporte fijo que estará en la zona más alta de la máquina, y el otro extremo al soporte móvil cuyo punto de inicio será el más alto estará en relación con la posición que alcance la cabeza de la biela en función del reglaje que se haya hecho a los discos situados en la salida del motor. Los ensayos a realizar son cíclicos y parten del estado de reposo, estirando hasta cierto punto (previamente determinado por el reglaje) las probetas, y volviendo a la posición de reposo inicial. Con esto se consigue estudiar únicamente los esfuerzos a tracción de las probetas, puesto que si el recorrido de la biela superase la posición de reposo, se inducirían esfuerzos de compresión a estas.

Para el nuevo diseño se parte de la base de la máquina de ensayos original, en torno a la cual se realizan las modificaciones pertinentes. Debido a que las nuevas piezas se asientan en un espacio distinto al de las anteriores, hay que adaptar el diseño al nuevo espacio disponible, y realizar taladros en el bastidor para unir estos nuevos componentes. El hecho de tener que prescindir de piezas de la anterior configuración para la nueva función de la máquina no implica que no se puedan volver a montar sobre la máquina. Con esto se pretende resaltar que las piezas retiradas han de poder volver a ser fijadas en su antigua ubicación independientemente de las modificaciones que se realicen. Esto supone los siguientes condicionantes de diseño:

- ✗ Mantener la reversibilidad de las funciones de la máquina.
- ✗ Hacer uso del mayor número de elementos existentes en la máquina original.
- ✗ Ajustar la disposición y el diseño de las nuevas piezas a los espacios libres que deje la máquina tras retirar los componentes anteriores.
- ✗ Añadir el menor número de piezas necesarias, que éstas no tengan un complejo montaje y que el posterior funcionamiento sea simple y fluido.

Conviene aclarar en este apartado cómo son las nuevas probetas que se van a estudiar, pues en base a sus dimensiones se diseñarán los componentes del equipo de fatiga a tracción. En la siguiente Figura 3-1 se muestran las dimensiones.

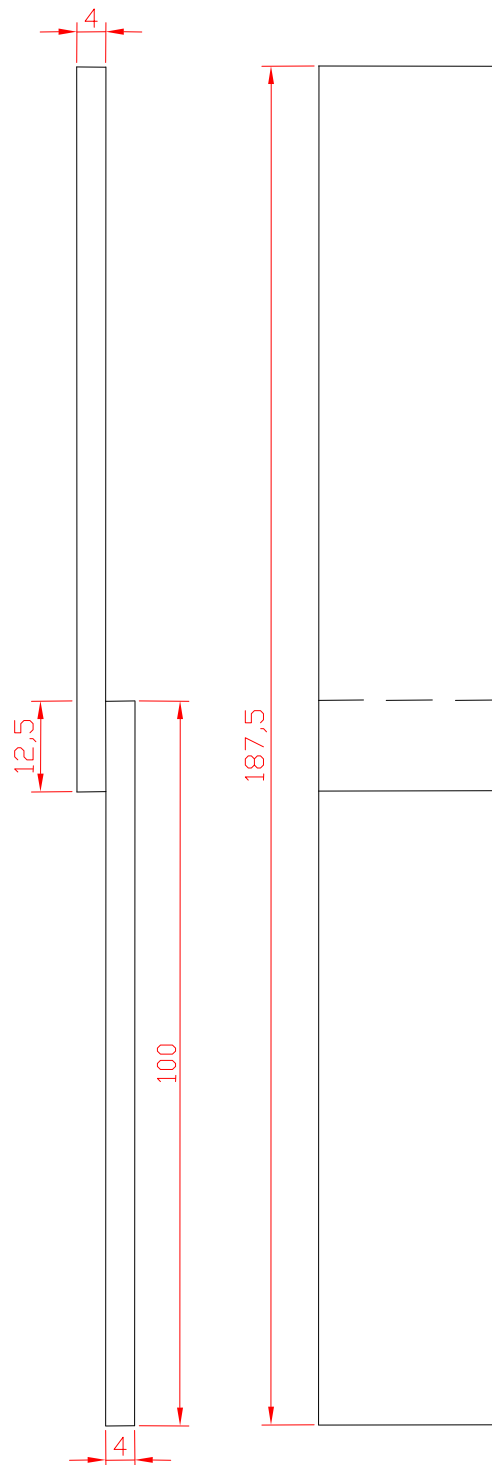


Figura 3-1. Vista lateral izquierda y frontal de probeta para ensayos a tracción.



### 3.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

El acero es el único material que se emplea en la máquina original, y será de nuevo el único que se emplee en la nueva máquina. De entre todas sus propiedades se destacan las que permiten al diseño cumplir con los objetivos deseados, estas son:

- ✖ Su resistencia a tracción y a fluencia.
- ✖ Buen mecanizado (con los equipos disponibles en los talleres de la Universidad Carlos III).
- ✖ Dureza.
- ✖ Resistencia ante la corrosión (aceros inoxidables o superficialmente tratados).

Antes de comenzar con la descripción de la máquina y de sus elementos, es conveniente realizar una breve descripción del material que los compone. El acero es una aleación entre varios metales, siendo el principal el hierro, el cual proviene principalmente del óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). En los altos hornos se trata con carbón para quitarle el oxígeno y liberar el metal de hierro o arrabio. En el proceso se forma dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y también se le añade carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (la caliza), para liberar las impurezas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) (el dióxido de silicio) contenidas en el mineral. El acero a su vez se alea con níquel y/o cromo obteniéndose como resultado acero con distintas propiedades. En concreto se selecciona el acero al carbono tipo F114 por presentar una buena relación entre propiedades físicas y sencillez de mecanizado. Consultar norma EN 10083-1.

La resistencia a tracción es una propiedad que nos permite asegurar que con las debidas dimensiones de las piezas, la calidad de sus uniones y la seguridad estructural del conjunto, serán capaces de soportar los esfuerzos. Esta tracción está bien considerada por el elevado límite de fluencia que tiene el material, y ese límite es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes (deformación plástica); mientras que si no se alcanza este valor el material vuelve a recuperar su tamaño inicial (la denominada deformación elástica). A continuación se expone el gráfico que explica el comportamiento del acero frente a las tensiones que se le apliquen con respecto a su deformación.

En el caso del Acero F114 es un acero de uso general con límite elástico de 700 a 850  $\text{N/mm}^2$  en las pletinas de espesor inferior a 16mm (el material disponible en la Universidad es de 10mm de espesor). Este tipo de acero está recomendado en el uso de máquinas y permite soldadura. ([www.thyssenkruppmaterials-iberica.es](http://www.thyssenkruppmaterials-iberica.es)).



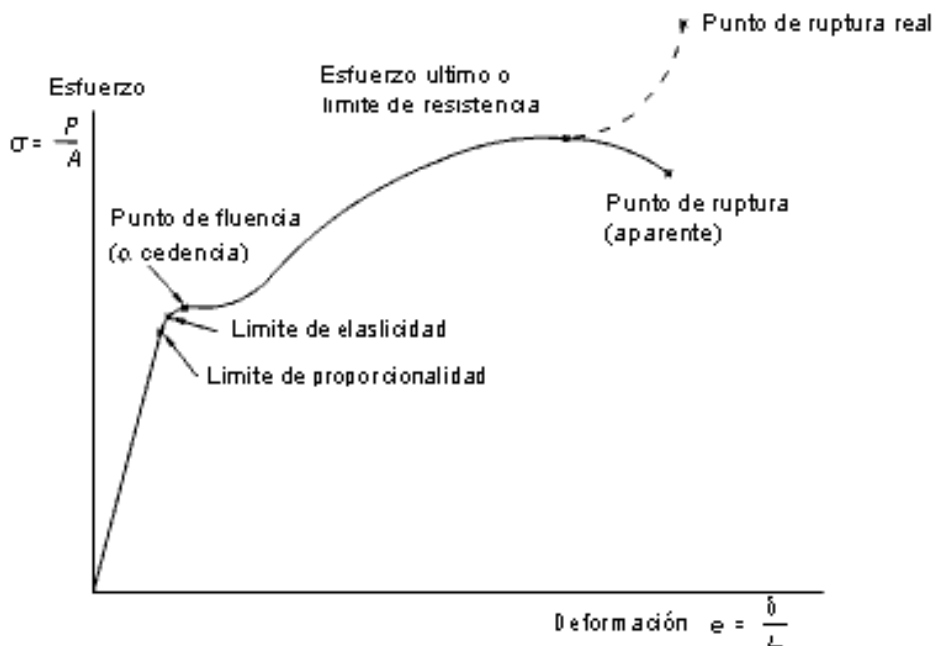


Figura 3.1-1. Diagrama Tensión-Deformación del acero.

De entre las propiedades que se han indicado, se subraya el buen resultado que se obtiene al mecanizar las pletinas de acero compradas para fabricar las piezas del nuevo diseño. Para ello se emplearán con los equipos disponibles en los talleres de la Universidad Carlos III de Leganés. En comparación, el aluminio puede ser presentado como el mayor competidor del acero por tener mejor mecanizado al poseer menos dureza, pero esa carencia de dureza y la menor resistencia a tracción, han sido motivos que se han tenido en cuenta para elegir el acero como el material de la máquina.

El peso del acero pese a ser elevado en comparación a otros materiales como, de nuevo, el aluminio; no ha supuesto un problema al estar la mayoría de las piezas unidas directamente al bastidor. Las piezas que forman parte del peso suspendido poseen unas dimensiones tales que el efecto que tiene éste se puede considerar despreciable durante el funcionamiento de la máquina.

Además, utilizar el mismo tipo de material (sólo acero) dificulta posibles deslizamientos entre las superficies que se unen, siendo esto algo que podrían ocurrir durante el funcionamiento de la máquina si se empleasen distintos materiales para unir las piezas.



### 3.2 COMPONENTES QUE PERMANECEN EN EL NUEVO DISEÑO

Antes de explicar el proceso de desarrollo ejecutado hasta obtener las piezas finales y su disposición sobre la máquina, se van a indicar los elementos de la máquina original que permanecen o han sido retirados de la anterior configuración.

En primer lugar se mantiene el mismo bastidor sobre el que se fijaban los componentes anteriores. Este bastidor con forma cúbica y de gran estabilidad estructural es imprescindible para poder aplicar los cambios necesarios sin que la rigidez de la máquina se vea comprometida. Los 20mm de grosor de sus paredes aseguran su integridad pese a tener que realizar nuevos taladros en ellas.

El motor que emplean los ensayos de fatiga a tracción es el mismo que el de los ensayos de fatiga a flexión, por lo que no se modifica su asentamiento ni sus características. Ver Tabla 2.2.6-1 Características del motor.

En la salida del motor, el conjunto de discos que crean la excentricidad necesaria para el movimiento de la biela permanecen invariables, así como la biela que se une a estos discos.

Los cambios de componentes de la anterior configuración, como veremos en el punto siguiente, se efectúan únicamente en la parte superior de la máquina. Casi todos los elementos que estaban atornillados en la parte superior del bastidor han sido retirados, y la unión de la biela con el conjunto superior también sufre grandes variaciones.

Los soportes del eje fijo, (las piezas con forma semicircular en su parte superior que servían para mantener la posición del eje en torno al cual flectaban las probetas), no se retiran del bastidor por estar unidas mediante unos taladros al bastidor que impiden atornillar piezas nuevas en ese lugar, por lo tanto retirarlos sería un esfuerzo inútil. La siguiente Figura 3.2-1 muestra cómo queda la máquina tras eliminar los anteriores componentes, y se observan estos soportes del eje fijo que permanece en su sitio pese a no tener función alguna en esta nueva configuración. La posición de estas piezas condiciona geoméricamente el nuevo diseño pues la situación de las mismas ocupa una posición céntrica muy apropiada para fijar los elementos incorporados en el nuevo diseño.



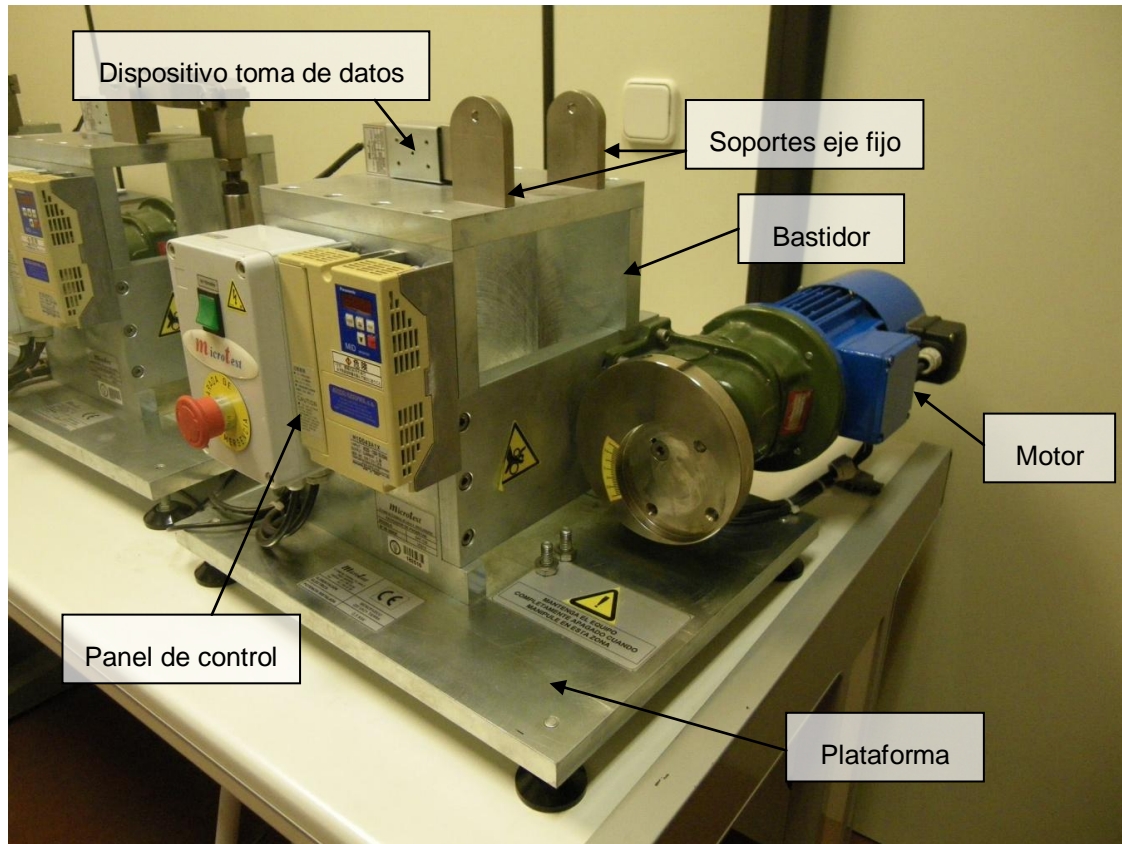


Figura 3.2-1. Máquina con elementos retirados.

El dispositivo que está situado en la parte central y trasera de la cara superior del bastidor y que sirve para unir el soporte fijo al bastidor tampoco se retira. La ubicación de éste no influye en las configuraciones que se van a diseñar para la nueva función de la máquina, por ello no es un problema dejarlo en donde está. Por otro lado mover este dispositivo, podría dificultar cumplir con la reversibilidad de la máquina, puesto que de esta pieza de unión entre soporte fijo y bastidor se extraen datos de los ensayos que son transmitidos al ordenador donde se recoge la información para poder estudiarla. Al desmontarla seguiría quedando unida al panel de control, pudiendo llegar a dañarse por estar fuera de sitio, por ello es preferible no retirarla.



### 3.3 COMPONENTES RETIRADOS

Los elementos que se indican a continuación son los que han sido eliminados de la máquina original para poder llevar a cabo los ensayos de fatiga a tracción. Se debe hacer hincapié en que estos elementos podrán ser reinstalados si se desea volver a montar la máquina de ensayos de fatiga a flexión. Los componentes retirados son:

- ✗ El soporte fijo necesario para inmovilizar un extremo de las probetas.
- ✗ El soporte móvil que enlaza el soporte fijo a la biela y sobre el que se fija el extremo móvil de las probetas.
- ✗ Las placas de fijación de ambos soportes que retienen las probetas para conseguir la inmovilización de sus extremos.
- ✗ Todos los tornillos, tuercas y arandelas que mantenían unidos los anteriores soportes entre ellos y al bastidor, así como los bulones situados en los ejes que permitían el movimiento relativo entre piezas .

Como los anteriores soportes (fijo y móvil) sólo se unían al bastidor a través de los dos soportes para el eje fijo que están en la parte superior de éste, no existen taladros que dificulten la fijación de las piezas nuevas; lo cual es una gran ventaja dado que se pueden emplazar los nuevos taladros donde sea conveniente. Para hacer los taladros se ha dejado un espacio prudencial entre ellos que asegure la estabilidad del conjunto y conserve las propiedades físicas del material.

Se indica nuevamente que como la posición que ocupa el dispositivo para la toma de datos está alejada de las nuevas piezas que se van a instalar, su unión con el bastidor no perjudica al posicionamiento de las nuevas piezas que se van a instalar.



### 3.4 PRIMEROS PASOS

Una vez retiradas las piezas que carecen de utilidad para realizar los ensayos de fatiga a tracción, quedan accesibles las zonas donde se van a colocar los nuevos elementos. El proceso que se detalla en los puntos siguientes muestra las distintas configuraciones evaluadas y piezas que se han diseñado para obtener el modelo final. Con ayuda de los bocetos se explican los puntos a favor y en contra de las piezas que se han diseñado, las dificultades que pueden existir al fabricarlas y los esfuerzos que van a tener que soportar las distintas configuraciones que se muestran. Los diseños han sido modificados a lo largo del proceso de desarrollo, y los principales motivos por los que han sido necesarios esos cambios son:

- ✗ Conseguir una configuración final de la máquina donde sus elementos no tengan interferencias mecánicas entre sí.
- ✗ Ajustar las medidas de las piezas al espesor de las pletinas de acero de donde serán extraídas.
- ✗ Simplificar la geometría de diseño de las piezas para facilitar su fabricación.
- ✗ Adaptar el diseño para corregir las situaciones inesperadas que puedan surgir, por ejemplo: interferencias mecánicas, tipos de fijación, tamaño de elementos de fijación, disponibilidad de tornillería, etc.

En este apartado se indican las restricciones de diseño de las medidas de la máquina que deben ser respetadas para implementar las piezas nuevas. Hacen referencia a las distancias entre ciertas partes fijas de la máquina, ya que es en torno a ellas donde se van a colocar el resto de las piezas del nuevo diseño.

Como ya se ha indicado, la posición de las probetas es vertical, de manera que conseguir un esfuerzo de tracción a lo largo de una vertical perfecta es de gran importancia para obtener resultados válidos al estudiar las probetas. Por ello respetar estas distancias y hacer un montaje con precisión incrementa el valor de las conclusiones extraídas de los futuros ensayos.

Una de las distancias considerada más crítica es la que existe entre el borde de la cara superior del bastidor, y la vertical que pasa por el centro del eje de giro del motor siendo esta longitud de  $74.3\text{mm} \pm 0,05$ . Ésta distancia indica dónde se colocan los elementos de la máquina para que la probeta quede en la línea vertical que coincide con el recorrido que hace la biela. Para ello son necesarias piezas que están firmemente atornilladas al bastidor y que tengan una parte de las mismas en voladizo. Algunas de estas piezas en voladizo deben servir para guiar a la biela a lo largo de un recorrido lineal y vertical, y otras para fijar el extremo superior de las probetas.

Las siguientes Figura 3.4-1 y Figura 3.4-2 muestran de forma esquematizada las distancias hasta el centro del eje; se observa tanto la vista en planta de la máquina como la vista lateral de la misma. También se han medido otras distancias que son necesarias para colocar las piezas, y para diseñar las dimensiones de las mismas aunque estos valores no tienen el mismo grado de criticidad en la tolerancia de fabricación.

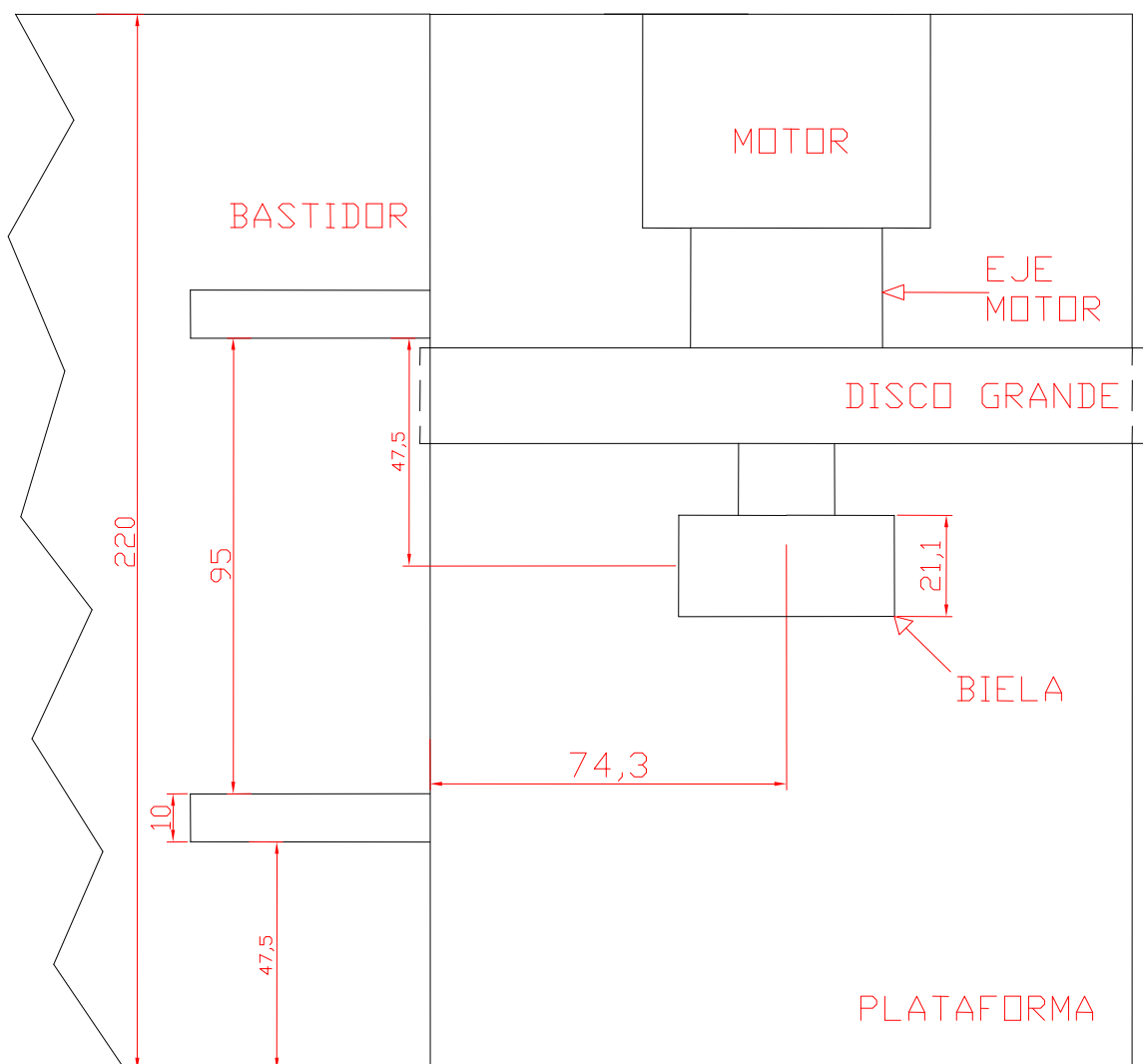


Figura 3.4-1. Vista en Planta Esquemática de la Máquina.

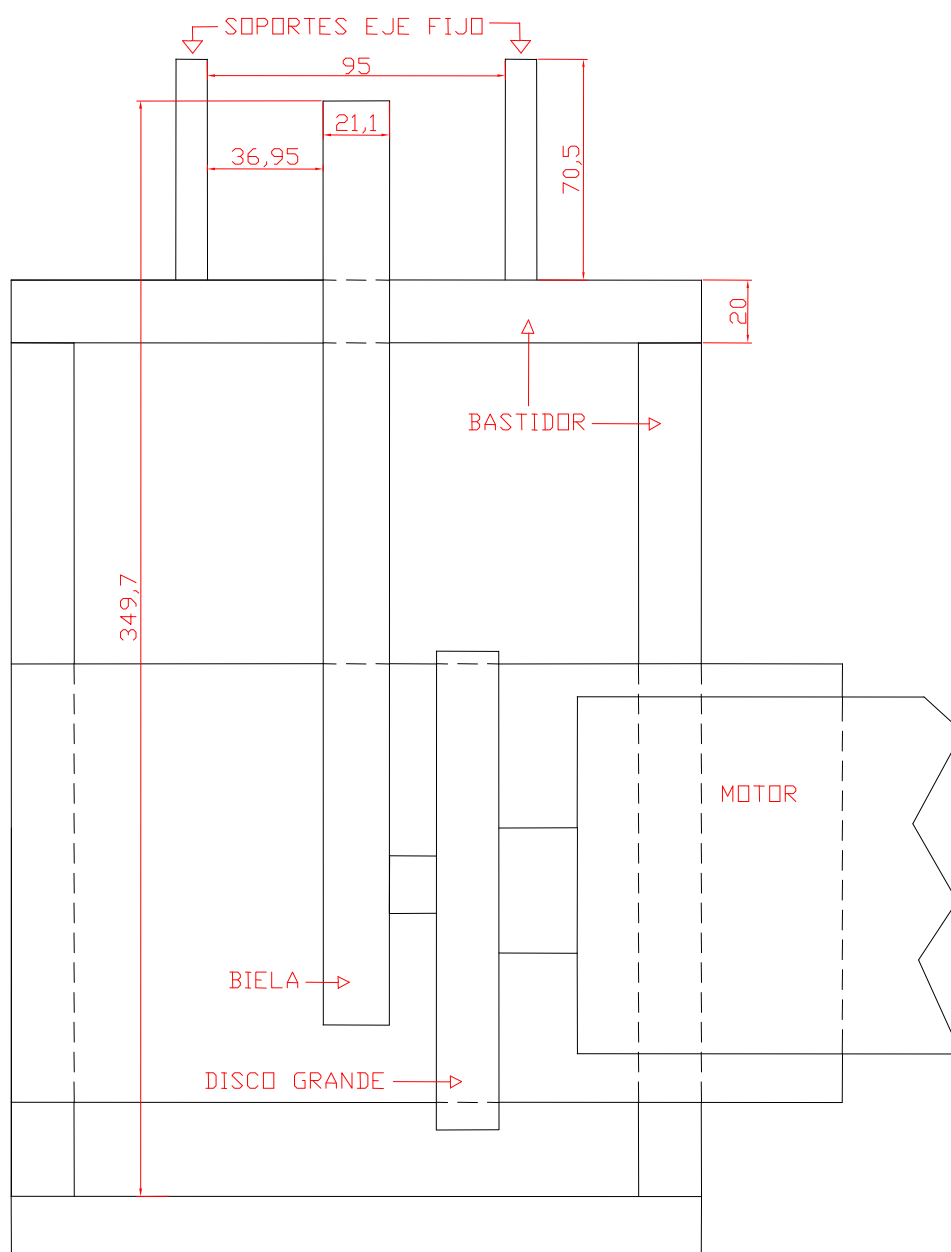


Figura 3.4-2. Vista frontal esquemática de la máquina.

### 3.5 FASE 1 - DISEÑO CONCEPTUAL. PRIMEROS PROTOTIPOS

A continuación, se detallan los prototipos y los diseños de las piezas que los componen y que se realizaron en la primera fase del Proyecto.

#### 3.5.1 Prototipo - A

El siguiente boceto muestra una de las primeras ideas de las que se parte para rediseñar la máquina.

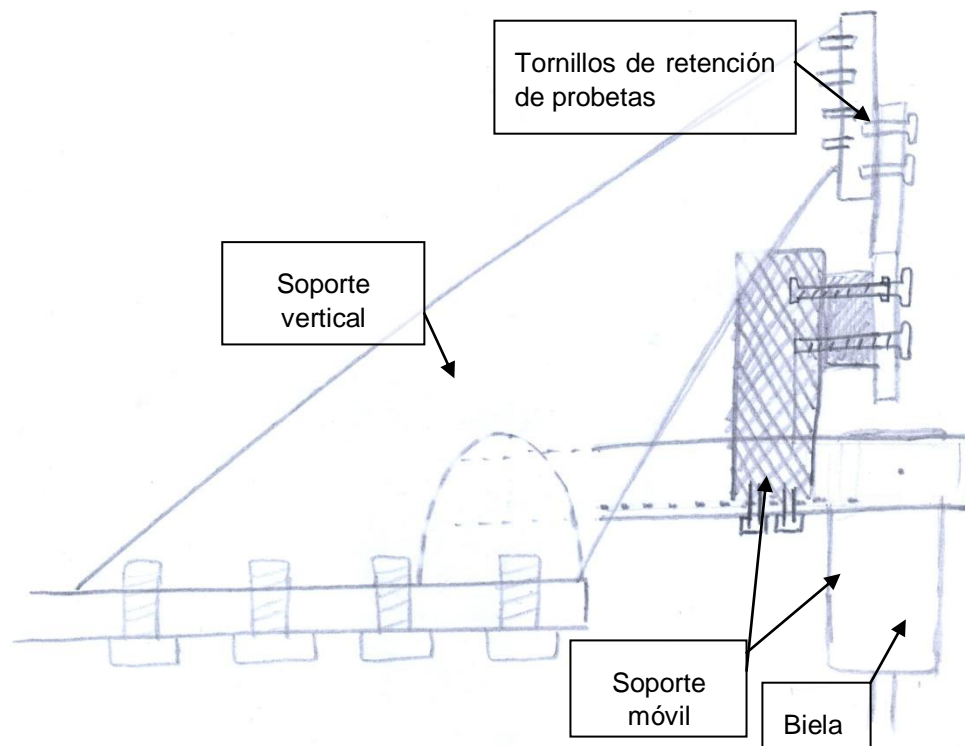


Figura 3.5.1-1. Boceto Vista Lateral Prototipo A.

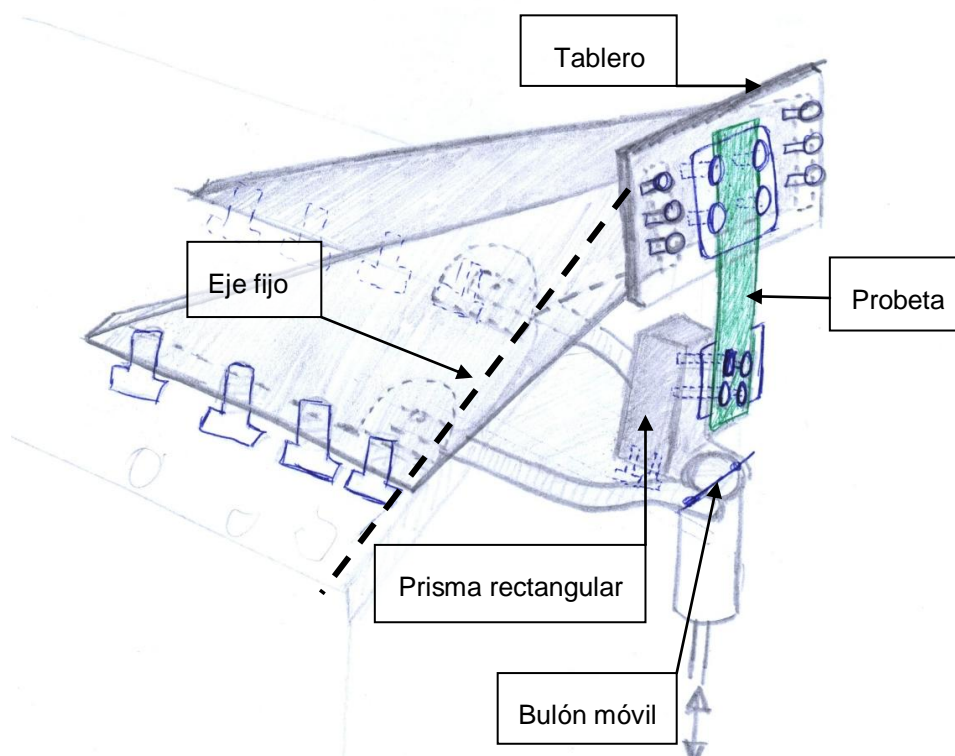


Figura 3.5.1-2. Boceto Vista Tridimensional Prototipo A.

Comenzando por la parte inmóvil, ésta se compone de dos piezas de grandes dimensiones que poseen una amplia base atornillada al bastidor de la máquina, y cuya geometría permite que sobresalgan de la vista en planta del mismo. La finalidad de esta parte en voladizo es la de colocar en su extremo una placa o tablero sobre el que se puedan fijar las probetas a estudiar. Estas quedan firmemente sujetas en su soporte superior por medio de una placa por la que pasan unos tornillos que la unen al tablero, quedando la probeta alojada entre medias. Esta probeta será retenida de tal forma que su parte superior permanecerá inmóvil a lo largo de todo el ensayo.

La parte móvil donde se fijan las probetas conserva el mismo soporte móvil que había en la máquina original. Para fijar las probetas en su parte inferior, se añade una pieza con forma de prisma rectangular donde se apoya la parte trasera de las mismas, y mediante otra placa son fijadas con unos tornillos de igual forma y manera que en el extremo superior.

El diseño es consistente desde el punto de vista mecánico, pero añade un grado de libertad a considerar a la hora de estudiar los ensayos a tracción de las probetas. La zona donde se fija el extremo inferior posee un movimiento de balancín por el hecho de girar en torno a un eje fijo. Este eje es el mismo que hacía flexionar las probetas de los ensayos a flexión, y provoca que las probetas de este nuevo diseño sufran esfuerzos que no sean exclusivamente de tracción. Esto se debe a que el desplazamiento de la parte inferior de la probeta no es lineal, se sigue recorriendo el mismo arco que recorría la parte superior de la biela en los anteriores ensayos. Como consecuencia de este punto los ensayos a tracción realizados con este diseño no serán considerados como válidos.

### 3.5.2 Mejora en voladizo

Ante la preocupación de que los ensayos fuesen demasiado exigentes para el voladizo que finalmente se diseñe, en el siguiente boceto se colocan unos soportes a modo de pilares que mejoren la estabilidad estructural del soporte del tablero que sujeta las probetas de forma que se eviten desplazamientos verticales del mismo.

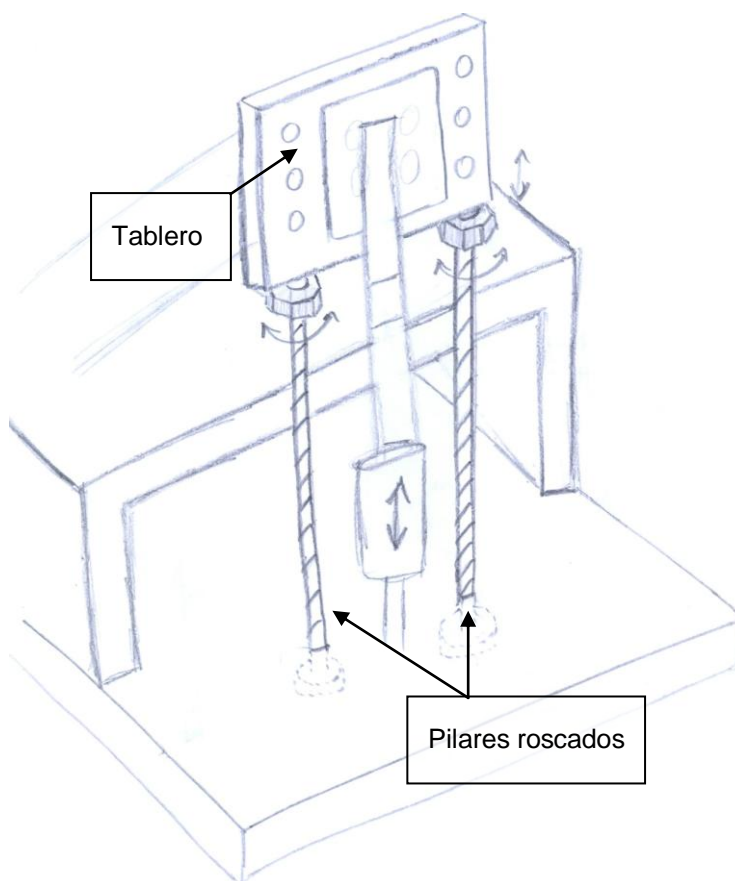


Figura 3.5.2-1. Mejora en voladizo.

Como se puede ver en la Figura 3.5.2-1, estos pilares se diseñan roscados, no solo para poder ajustar la rigidez de sustentación del tablero, sino también porque el tablero podría regularse a diferentes alturas en función de la elongación de las probetas que se sometan a ensayo.

Finalmente, se desestima este diseño optando por una solución mediante escuadras metálicas que proporcionan mejores resultados y que solventan este inconveniente aportando mayor rigidez. (Ver Figura 4-2).



### 3.5.3 Prototipo - B

El siguiente boceto está inspirado en el motor de un automóvil. Como se puede apreciar, a la biela se le ha añadido un pistón como el que recorre el cilindro de un motor de explosión, siendo la abrazadera (que está unida al soporte vertical que se atornilla al bastidor) la pieza que haga las funciones de guiado vertical del pistón. En la parte superior del soporte vertical se atornilla un tablero, en donde igual que en los anteriores bocetos, se fija la parte superior de la probeta.

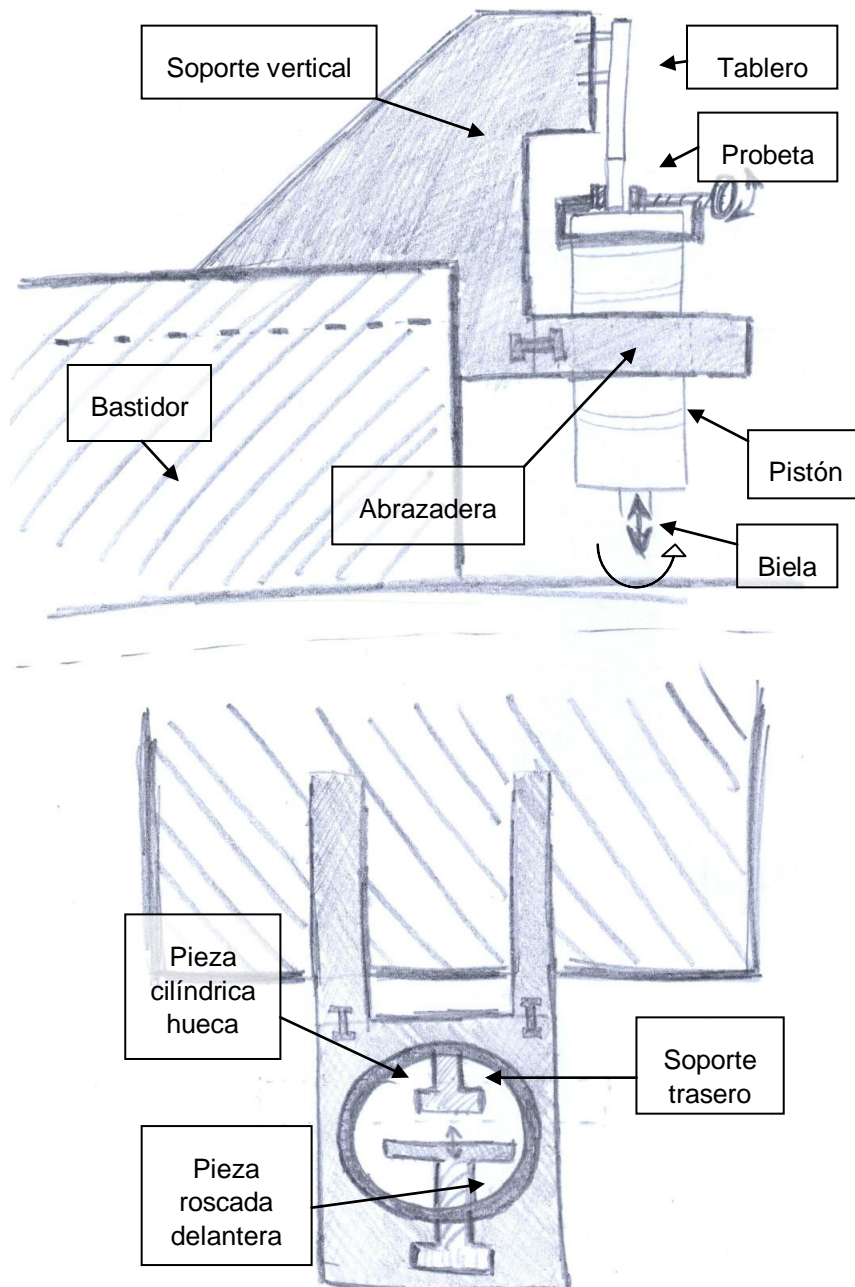


Figura 3.5.3-1. Vistas lateral y planta del prototipo B.

Como se aprecia por la disposición de los elementos de la máquina, las probetas permanecen siempre verticales. Para fijar las probetas al pistón, se emplea una pieza cilíndrica hueca que lo rodea haciendo encajar el pistón dentro de ella. Esta pieza se debe atornillar o soldar al pistón para que permanezca fija en todo momento. En esta pieza cilíndrica, existe un soporte trasero con una parte plana donde apoya la parte trasera de las probetas, y delante de esta pieza existe otra similar pero que posee una rosca. De esta manera se pueden ajustar al espesor de las probetas para fijarlas correctamente.

Se desecha este modelo por su complejidad y por la dificultad de ensamblar mecánicamente sus piezas, en especial un pistón que se ajuste a la biela. En caso de conseguir uno se debe extremar la precisión en su montaje, y ser restrictivos en las tolerancias del diseño de todas las piezas que formen el conjunto del pistón, biela y abrazadera, porque una mínima excentricidad supone introducir vibraciones que afectan al correcto funcionamiento y a la vida útil de la máquina. El rozamiento que surge entre el pistón y la pieza que lo rodea es otro de los inconvenientes, pudiendo llegar a calentarse por fricción y pudiendo generar vibraciones si el deslizamiento entre las superficies no es adecuado. Además, el problema del rozamiento entre el pistón y la abrazadera implica tener que aplicar un lubricante entre ambas superficies, haciendo más incómodo el trabajo con la máquina por tener un pistón que puede ensuciar lo que contacte con él.

#### 3.5.4 Prototipo - C

Del modelo inspirado en un motor de explosión se pasa a un nuevo prototipo donde se elimina la necesidad de usar un pistón y solo es necesario el uso de la biela. El recorrido vertical de la biela se consigue gracias a dos guías o correderas atornilladas al bastidor de la máquina. Para conseguir que la biela las recorra, se hace pasar un bulón a través de la parte superior de ella.

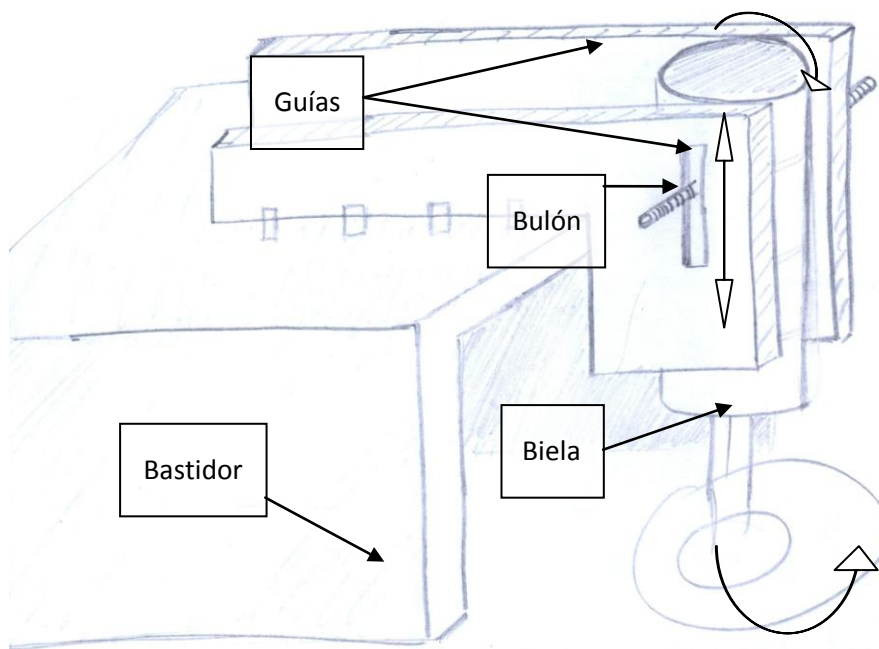


Figura 3.5.4-1. Prototipo C.



Este tercer prototipo permite que parte de la biela pueda alejarse de la vertical, es decir, tener un movimiento oscilatorio en torno al bulón que recorre las guías ya que, aunque el recorrido del bulón es lineal, la base de la biela está unida a los discos de la salida del motor que provoca un movimiento basculante de la biela. Esto impide que cualquier parte de la biela que esté desplazada del eje donde se encuentra el bulón se mueva haciendo un recorrido rectilíneo. El anterior boceto no permitía este movimiento basculante porque la pieza fija que abrazaba el pistón sólo deja un grado de libertad en el movimiento vertical cuando pasa a través de ella.

El empleo de las guías resulta de gran utilidad y de fácil aplicación para transmitir los esfuerzos de tracción que se buscan desde un principio desde el punto de vista dinámico, y es que con ellas se consigue conservar la verticalidad del ensayo en todo momento. En base a esta consideración se han mantenido las guías hasta elaborar el modelo final.

Teniendo ya una idea inicial (en base al soporte fijo del prototipo A) de cómo puede ser la parte inmóvil que va atornillada al bastidor y empleando guías para el recorrido de la biela, se elaboran nuevos modelos para estudiar posibles modos de unión de las probetas con esta biela, ya que es el diseño de esa parte de la máquina la más crítica y la que más complicaciones mecánicas puede dar si no está bien diseñada. La transmisión de un movimiento de tracción alineado con la probeta y que sea constante a lo largo del recorrido, es uno de los principales objetivos para realizar ensayos a tracción de forma correcta.

### **3.5.5 Propuestas de Diseño del Soporte Móvil**

A continuación se describen estos nuevos modelos elaborados para estudiar los modos de unión de las probetas al soporte móvil.

#### **3.5.5.1 Soporte móvil - 1**

En el soporte móvil 1, que aparece en la siguiente Figura 3.5.5-1, se observa cómo en su parte superior existe una zona mecanizada rebajando su sección para poder colocar en ella el soporte donde se fija el extremo inferior de las probetas.

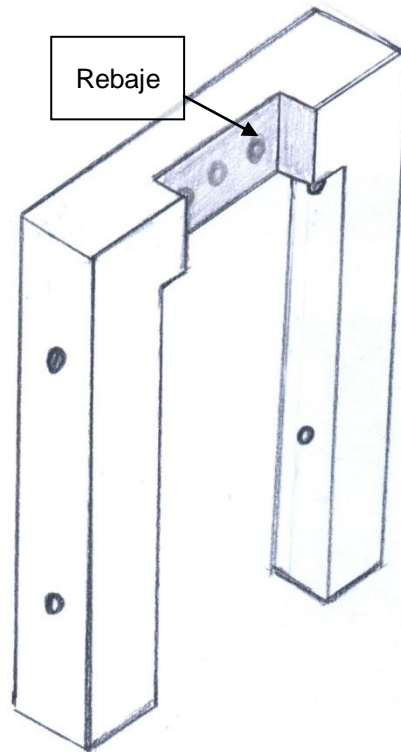


Figura 3.5.5-1. Boceto de Soporte Móvil 1.

### 3.5.5.2 Soporte móvil - 2

Una evolución del soporte móvil descrito en el punto anterior es la que aparece en la siguiente Figura 3.5.5.2-1. En ella se pueden ver unas piezas roscadas cuya finalidad es la de impedir desplazamientos de este soporte móvil-2 a lo largo del bulón que recorre las guías, asegurando de esta manera, el desplazamiento lineal y vertical de las probetas una vez estén fijadas.

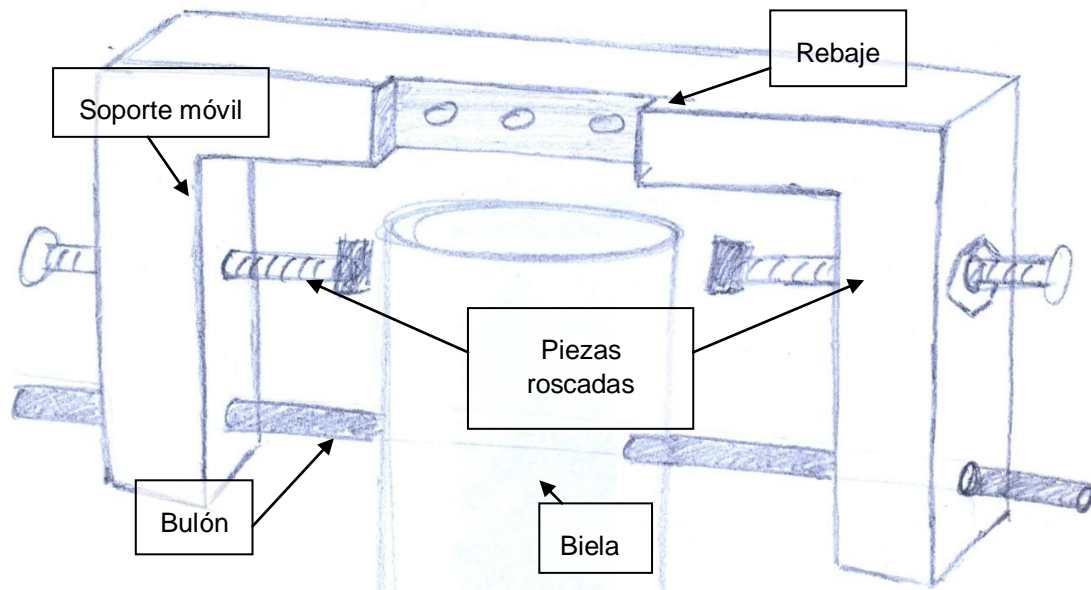


Figura 3.5.5.2-1. Boceto soporte móvil - 2.

La Figura 3.5.5.2-2 muestra en detalle cómo es la pieza que se coloca en el rebaje realizado en el soporte móvil. En ella se aprecian los cuatro agujeros por los que pasan los tornillos que consiguen mantener fijo el extremo inferior de las probetas que se coloquen entre ambas piezas. Los otros tres taladros situados en la base de la pieza grande son los que permiten atornillarla al soporte móvil que va unido a la biela.

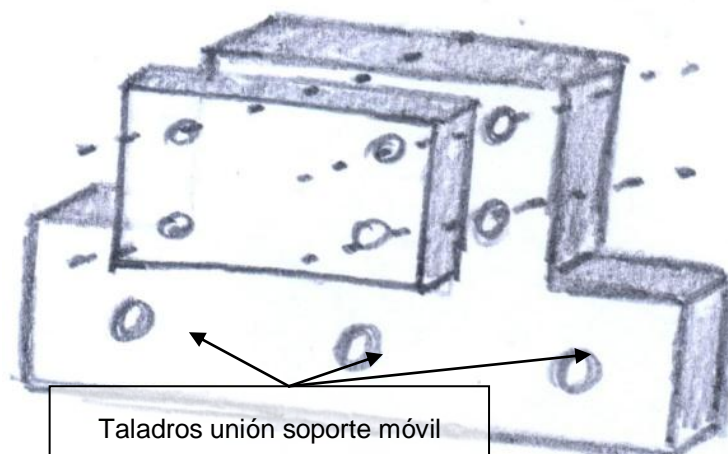


Figura 3.5.5.2-2. Boceto pieza soporte fijación inferior probetas.

### 3.5.5.3 Soporte móvil - 3

El soporte móvil 3 es muy similar al anterior aunque cabe destacar dos diferencias apreciables.

- ✗ La primera es que se ha considerado que dada la disposición vertical de la probeta y que la dirección de los esfuerzos aplicados es siempre vertical, no hay motivos para que el soporte móvil que une las probetas con la biela se desplace a lo largo del bulón. Por este motivo no son necesarias las piezas roscadas que impiden el desplazamiento a lo largo del mismo.
- ✗ La segunda diferencia son los dos tornillos verticales en los extremos del soporte que lo unen a las otras dos piezas por las que pasa el bulón. Con ello es posible ajustar la altura de este soporte inferior en el caso de tener que ajustarse a longitudes de probetas distintas, o para casos en que el ensayo de tracción tenga una gran elongación de la probeta y necesite un recorrido extra; el cual se puede añadir gracias a la posible regulación de la distancia del soporte con la biela que proporciona este mecanismo.

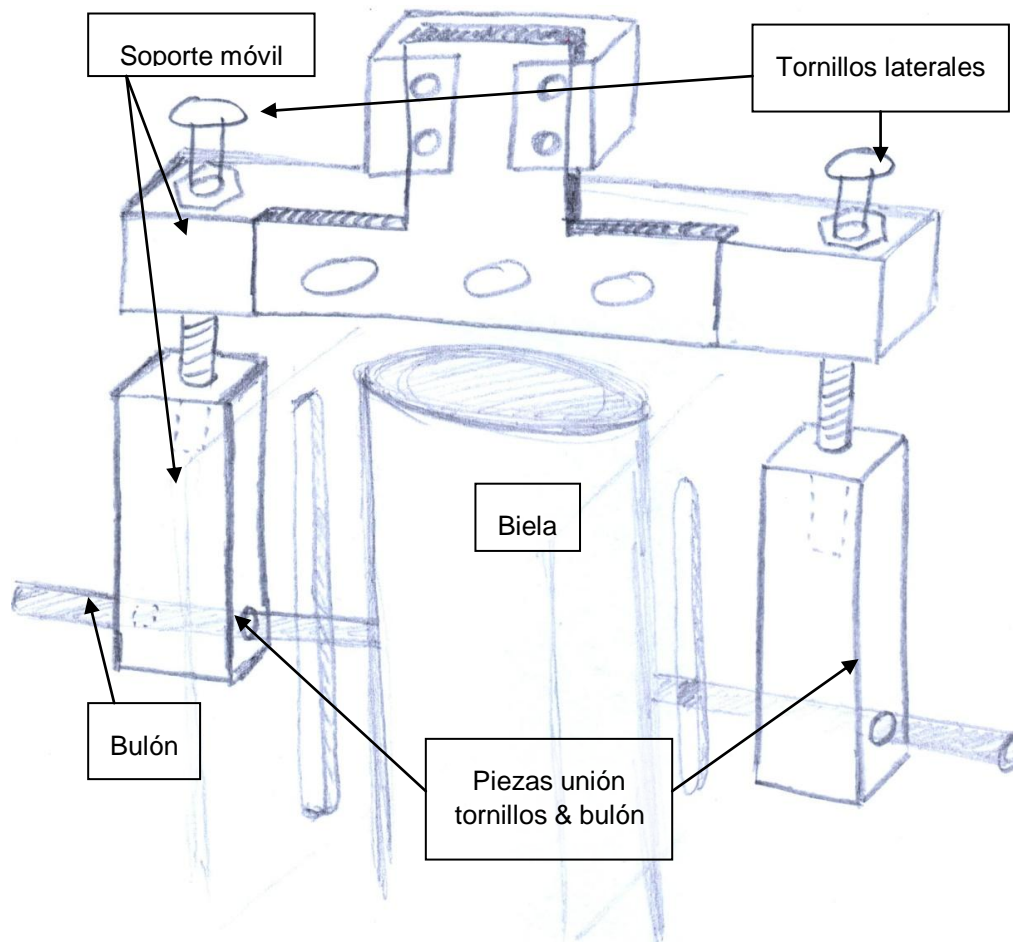


Figura 3.5.5.3-1. Boceto soporte móvil-3.



La Figura 3.5.5.3-2 muestra, en detalle, cómo es la pieza de unión entre los tornillos y el bulón.

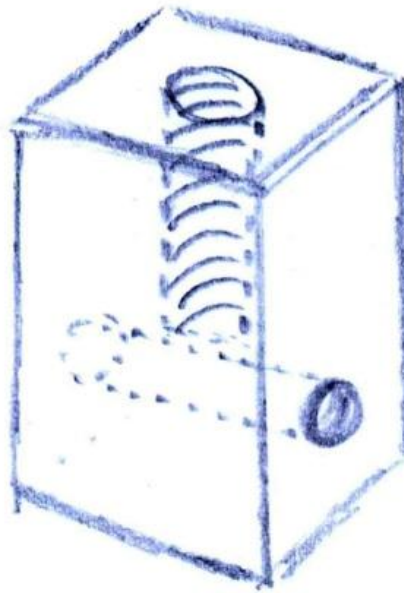


Figura 3.5.5.3-2. Pieza Ajuste en Longitud del Soporte Móvil.

Se estima inviable este diseño por tener un montaje complejo, y por haber encontrado finalmente una solución más simple para fijar el extremo inferior de las probetas, definido en el diseño que aparece a continuación.

#### 3.5.5.4 Soporte móvil - 4

Las piezas que finalmente se definen como solución mecánica para el soporte móvil que amarre las probetas a la biela, son las que aparecen en la siguiente Figura 3.5.5.4-1. Se puede apreciar que está compuesto por dos piezas con forma de "L", las cuales se sitúan a ambos lados de una placa plana, y que constituye la superficie sobre la que se apoya la parte trasera de las probetas. Estas probetas, como ha ocurrido a lo largo del desarrollo llevado, son fijadas con otra placa mediante unos tornillos de la misma forma que se ha explicado en los bocetos de los soportes móviles anteriores.

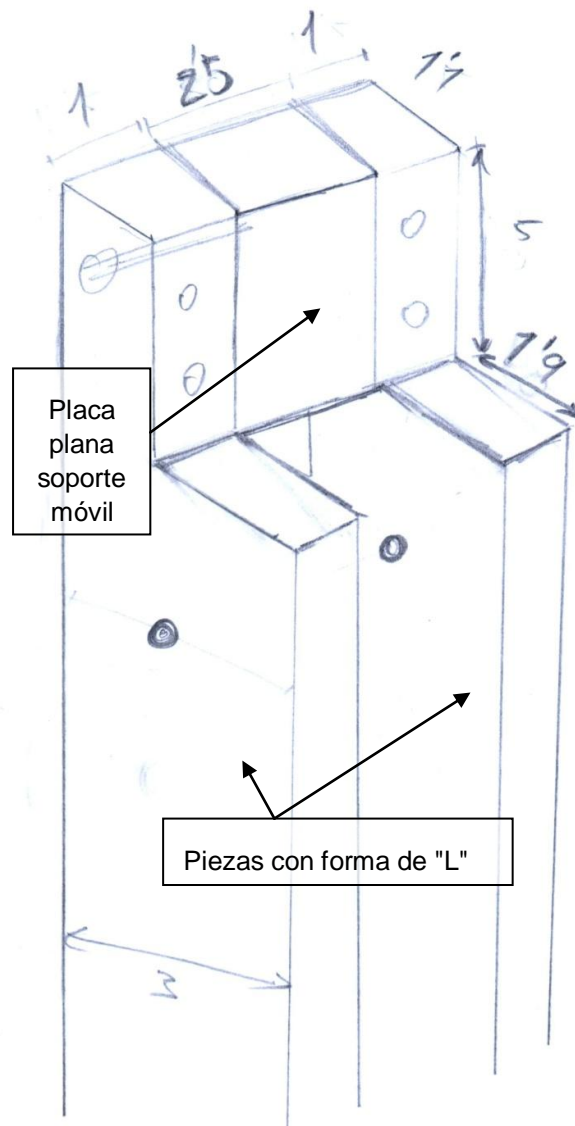


Figura 3.5.5.4-1. Boceto soporte móvil-4.





Las piezas que tienen forma de “L” son atravesadas por el bulón que recorre las guías, y se ubican a ambos lados de la biela. Las medidas que aparecen y la disposición de las piezas ha sido cambiada por motivos que se explican y detallan en los siguientes puntos del presente documento.

De esta pieza se considera muy importante destacar que para evitar transmitir el movimiento de rotación de la biela a las probetas, esta unión no se realiza de forma directa sino mediante el bulón que absorbe la rotación de la biela y lo conecta al soporte móvil, que es guiado por el propio bulón a través de las dos ranuras verticales.

El guiado de dicho bulón, por las ranuras contenidas en las guías, impide transmitir desplazamientos no lineales a las probetas. Al disponer de un único grado de libertad que consigue un movimiento vertical-lineal de las probetas sometidas a ensayo se eliminan otros desplazamientos y esfuerzos que puedan invalidar los resultados obtenidos en los ensayos.

Como resultado, una configuración muy similar al soporte móvil - 4 que se ha explicado en este punto, será la que emplee el modelo final.

### 3.5.6 Prototipo - D

El siguiente prototipo muestra el montaje final que podría haber tenido la máquina en el proceso de desarrollo descrito. Pero antes de entregar los primeros planos se decidió que las guías se atornillasen al bastidor únicamente por la cara interior de su pared superior (en lugar de por las caras exterior e interior como aparece en el boceto).

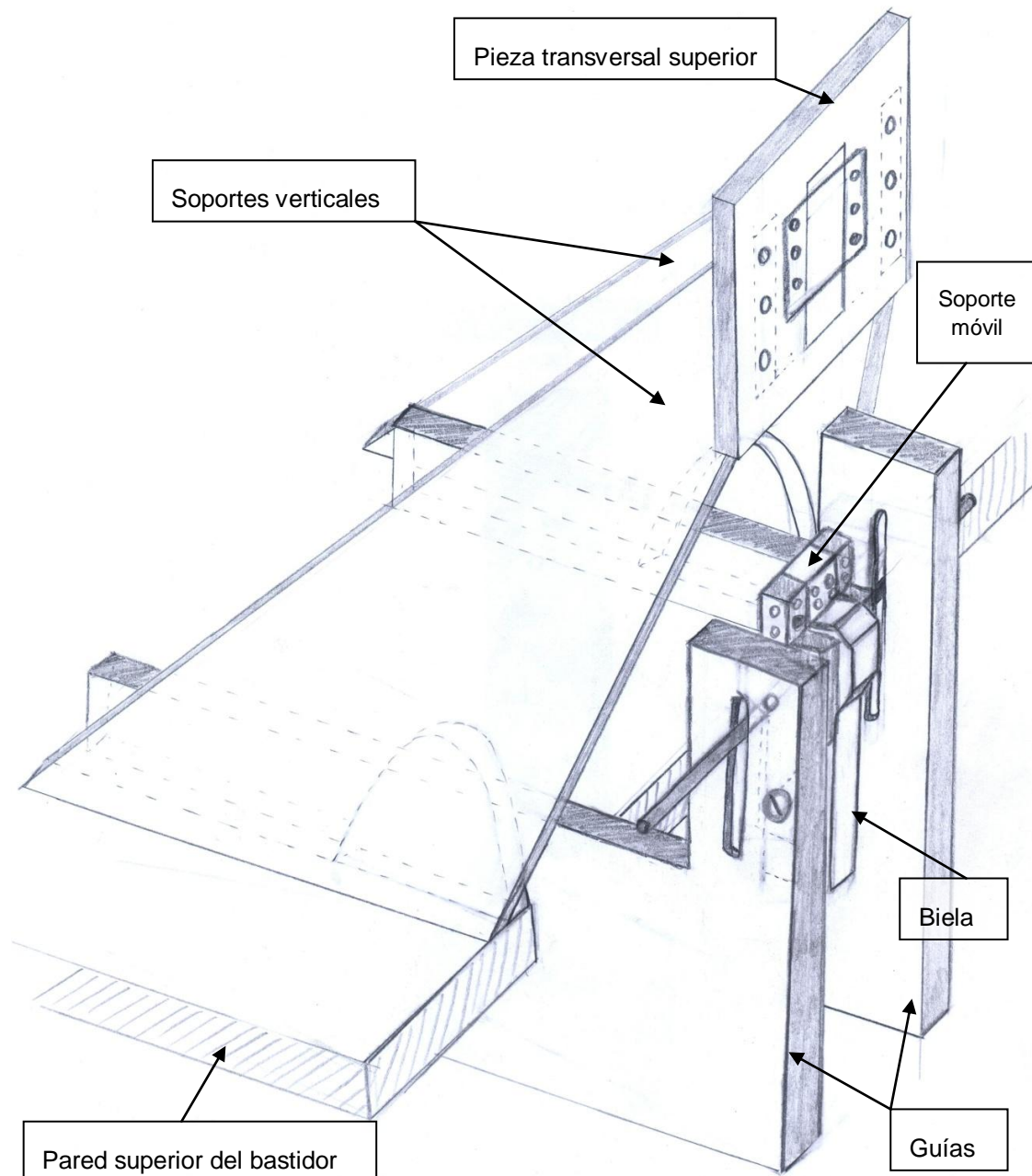


Figura 3.5.6-1. Vista tridimensional del prototipo D.

### 3.6 FASE 2 - DISEÑO PRELIMINAR. PLANOS PRIMERAS PIEZAS

Una vez alcanzado un grado de madurez suficiente en el diseño que permite definir las dimensiones y el montaje de las piezas, tal y como se puede ver en la imagen Figura 3.5.6-1, se entregan los primeros planos para que el técnico del laboratorio pueda fabricarlas. Las medidas que aparecen en las cotas de los siguientes planos están en milímetros.

*Nota:* En las piezas que se muestran a continuación no aparecen los agujeros de los taladros necesarios para las uniones porque en el momento de entregar estos primeros planos se desconocía el tamaño de los tornillos que se iban a emplear, y el emplazamiento de los mismos no estaba todavía decidido. Tampoco aparecen las placas planas para la retención de las probetas por desconocer el grosor de los tornillos que fijarían las mismas, y que podrían hacer variar sus dimensiones.

#### 3.6.1 Soportes verticales

El soporte vertical, al que se une la pieza transversal superior donde se fija la parte superior de las probetas, tiene las siguientes dimensiones.

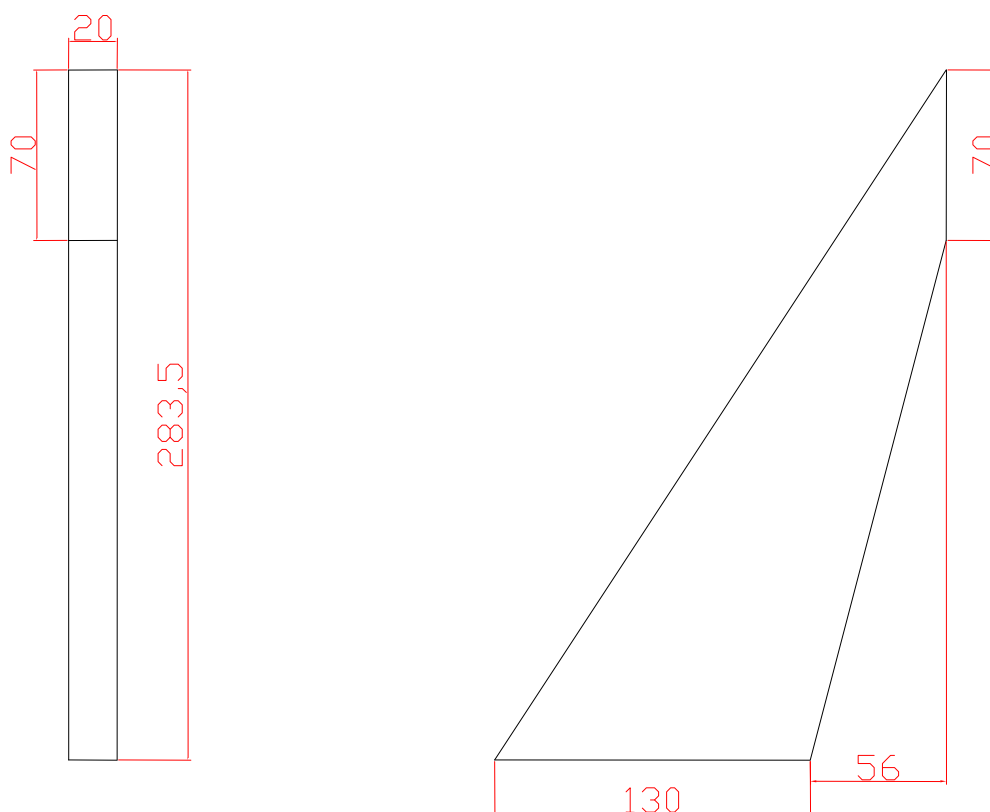


Figura 3.6-1. Vista frontal y lateral de soportes verticales.

Es necesaria la fabricación de dos unidades de esta pieza.

### 3.6.2 Pieza transversal superior

La siguiente es la pieza transversal horizontal que se atornilla en el extremo de los soportes verticales anteriores, quedando en voladizo para poder colocar posteriormente la probeta en posición vertical y así poder realizar los ensayos de tracción.

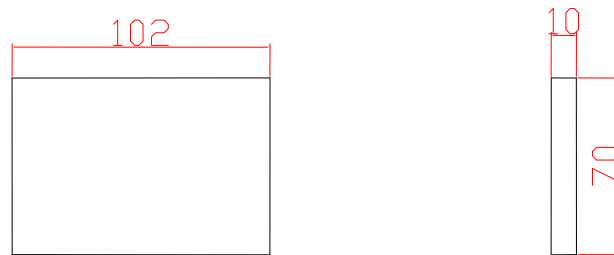


Figura 3.6-2. Vista frontal y lateral de la pieza transversal superior.

### 3.6.3 Guías

Las piezas que aparecen a continuación, son las guías que permiten mantener la dirección vertical al aplicar los esfuerzos sobre las probetas. Es necesario fabricar dos unidades de estas piezas.

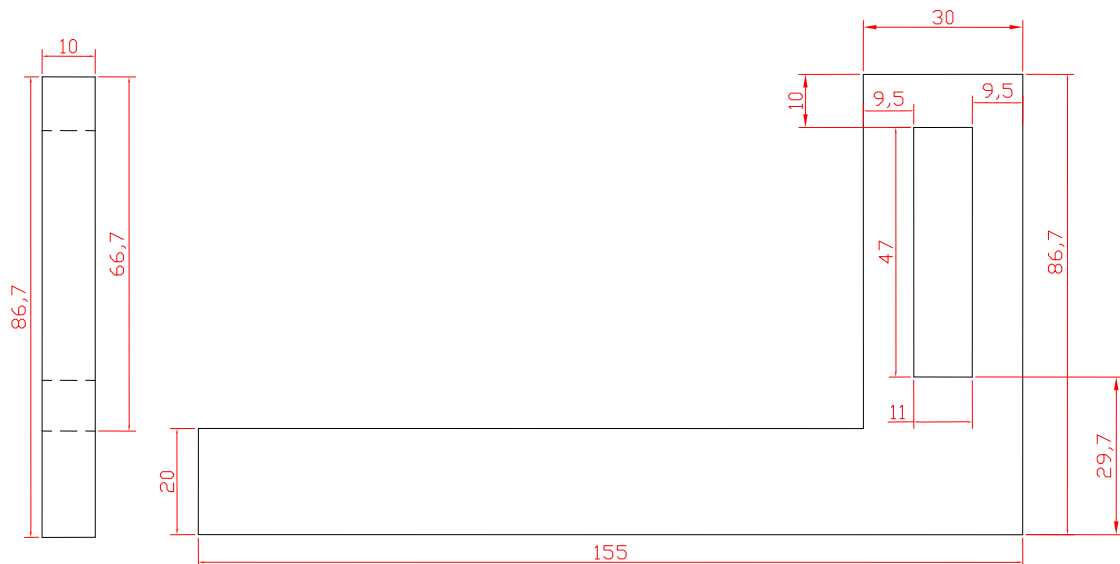


Figura 3.6-3. Vista frontal y lateral de las guías.

### 3.6.4 Piezas laterales del soporte móvil

El plano siguiente es el de la pieza con forma de “L” que queda a ambos lados de la biela, y que tiene el taladro necesario para que pase por ella el bulón que recorre las ranuras de las guías. Es necesario fabricar dos unidades de estas piezas.

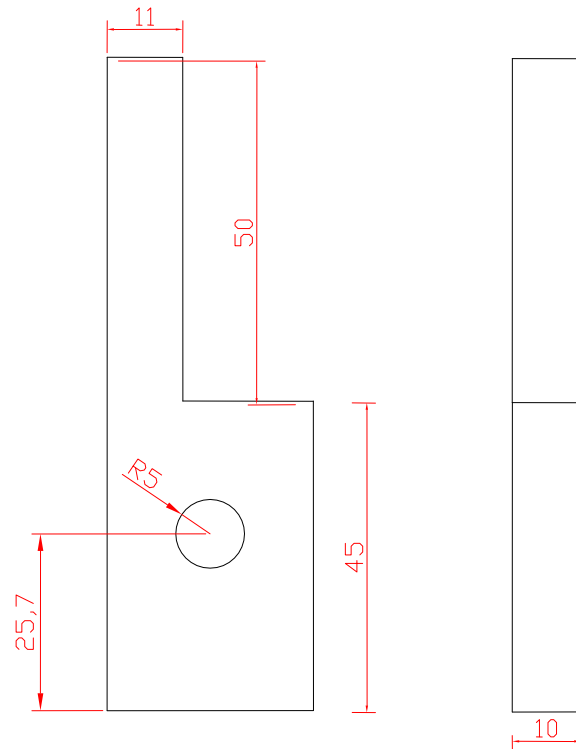


Figura 3.6-4. Pieza lateral del soporte móvil.

### 3.6.5 Placa plana del soporte móvil

Para unir las piezas laterales, se emplea una pieza intermedia que las une. En esta placa plana es donde se apoya la parte trasera de las probetas.

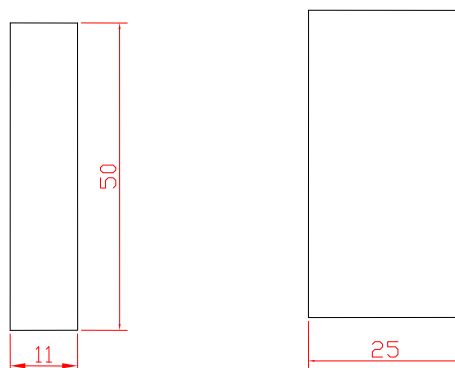


Figura 3.6-5. Placa plana del soporte móvil.

### 3.7 FASE 3 - REVISIÓN DEL DISEÑO CRÍTICO

Como ya se ha comentado, al elaborar este Proyecto se ha tenido presente la posibilidad de tener que adaptar el diseño e implementar modificaciones o cambios inesperados a lo largo del mismo. Las primeras complicaciones han surgido al entregar los planos de las primeras piezas que se han diseñado al técnico del taller de fabricación.

El primer problema aparece en las piezas que están diseñadas para ser los soportes verticales, y es debido al espesor definido. Se diseñan pensando en la posibilidad de usar pletinas de acero con 20mm de espesor para fabricarlas, pero el taller de la Universidad sólo dispone de pletinas con 10mm de espesor. Mantener las medidas de los primeros planos supone tener que hacer un pedido especial, ralentizando así el proceso de fabricación. Considerando este contratiempo y el impacto estructural del cambio, se modifican los soportes y se tiene en cuenta el espesor de 10mm para este diseño y el de las piezas posteriores.

Por otra parte la geometría de esos soportes no es fácil de obtener mediante mecanizado con los equipos disponibles en los talleres de la Universidad. Esto supone el segundo problema, y es debido a que la precisión requerida en los ángulos definidos por diseño no es fácil de conseguir, por ello se realiza un boceto sobre cómo pueden ser los nuevos soportes (ver Figura 3.7-1). En el boceto se han dibujado las vistas en perspectiva y lateral del montaje.

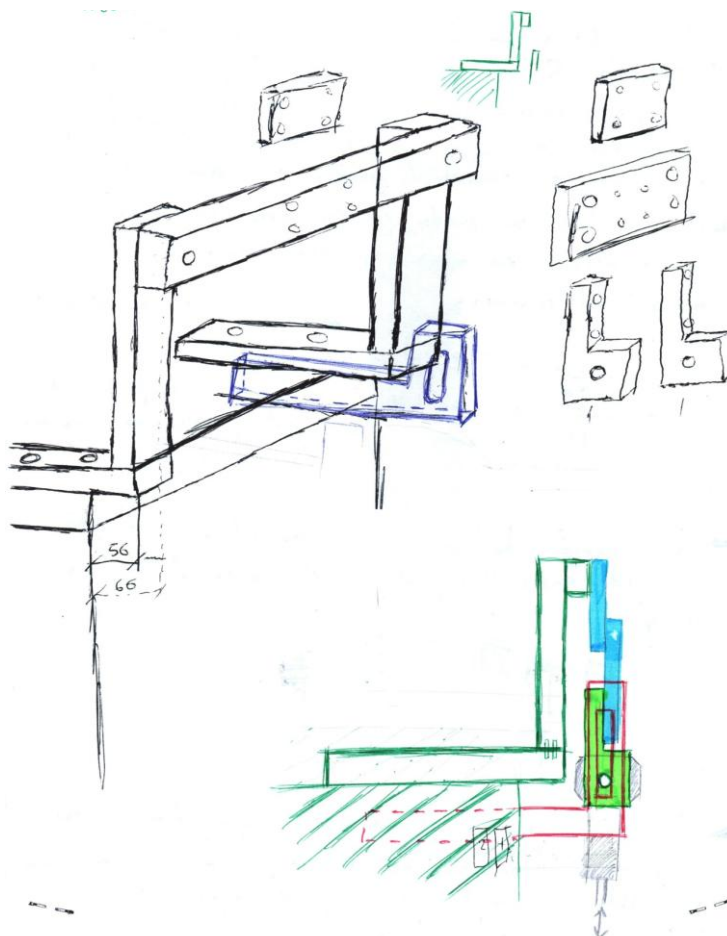


Figura 3.7-1. Boceto de cambios en los soportes verticales.

El tercero de los cambios que deben ser introducidos modifica la forma de unir las piezas del soporte móvil. Debido al reducido espacio que las piezas del soporte móvil, definido en los primeros planos, dejan para los tornillos que las unen y para los que se necesitan para fijar las probetas, se estima necesario cambiar la forma de unir las piezas laterales con forma de "L" y la placa plana del soporte móvil. De esta forma no se producen interferencias entre los taladros ni se debilita de manera excesiva la rigidez de las piezas taladradas.

La nueva disposición de la placa, en lugar de colocarla entre los dos extremos de dimensiones de 11x50mm y 10mm de espesor, y cuya disposición inicial aparece en el boceto del soporte móvil-4 (Figura 3.5.5.4-1); se pasa a una nueva disposición donde esta placa se coloca apoyada sobre las caras de 50mm de altura y 10mm de grosor. Es conveniente ver el plano de piezas laterales del soporte móvil (Figura 3.6-4) para distinguir las zonas de unión.

La disposición final que se obtiene se puede apreciar en la siguiente fotografía, en donde aparecen las piezas fabricadas y montadas. Para unir las piezas con forma de "L", la placa plana que las une necesita aumentar sus dimensiones hasta alcanzar 50mm de altura y 45mm de ancho, manteniendo los 10mm de espesor.

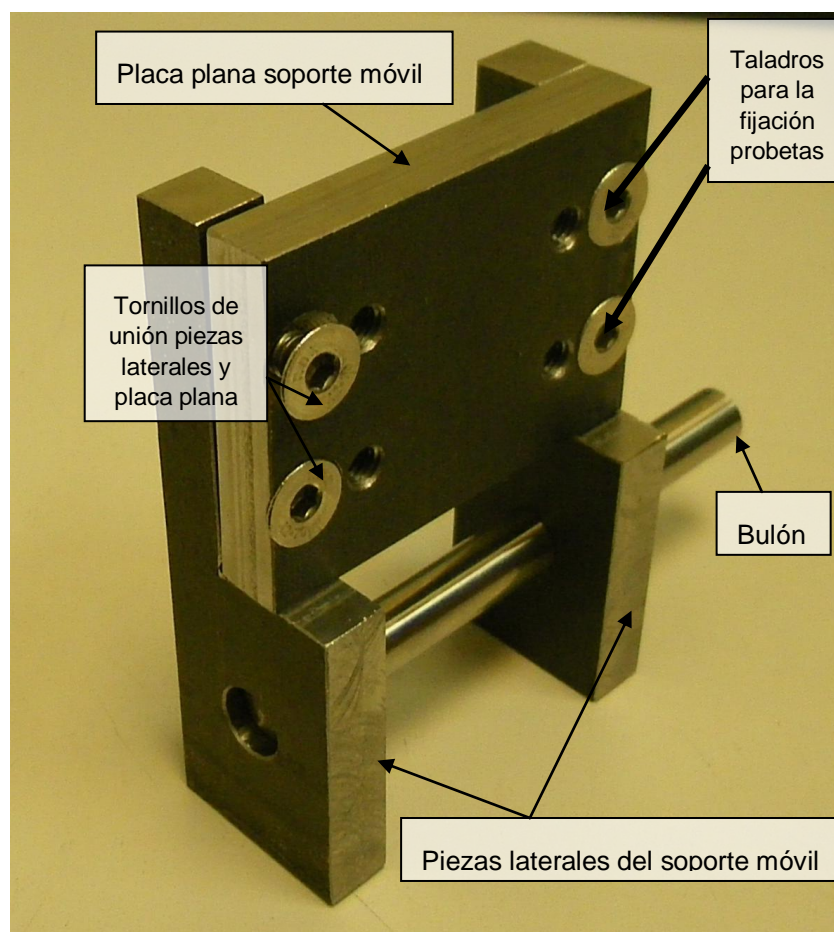


Figura 3.7-2. Soporte móvil y bulón.

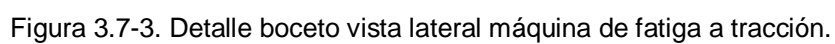




Este último cambio hizo variar también la distancia en voladizo que tiene el soporte vertical y las guías. Se tuvo que aumentar este voladizo en 10mm, para alcanzar la nueva posición de la placa plana del soporte móvil ya que el espesor de la placa de acero se cambia de sitio y se aleja 10mm del bastidor de la máquina.

Con las últimas revisiones el diseño crítico se perfila de manera que el diseño final del equipo de fatiga a tracción empieza a tomar forma. Se hacen unos bocetos (teniendo en cuenta los nuevos cambios introducidos en la geometría, disposición y espesor de las piezas) que dan una idea sobre cómo afectan dichas variaciones al aspecto final de la máquina.

En el siguiente boceto (Figura 3.7-3) se muestra una vista lateral con las medidas de algunas piezas, las distancias entre ellas y la disposición que deben tener. A pesar de no estar a escala se observa con suficiente grado de detalle cómo puede quedar el montaje definitivo de las piezas.



La vista frontal de la máquina aparece en la siguiente figura; donde se incluyen también algunas medidas, que aunque no son definitivas, permiten apreciar la disposición de los elementos de la máquina.

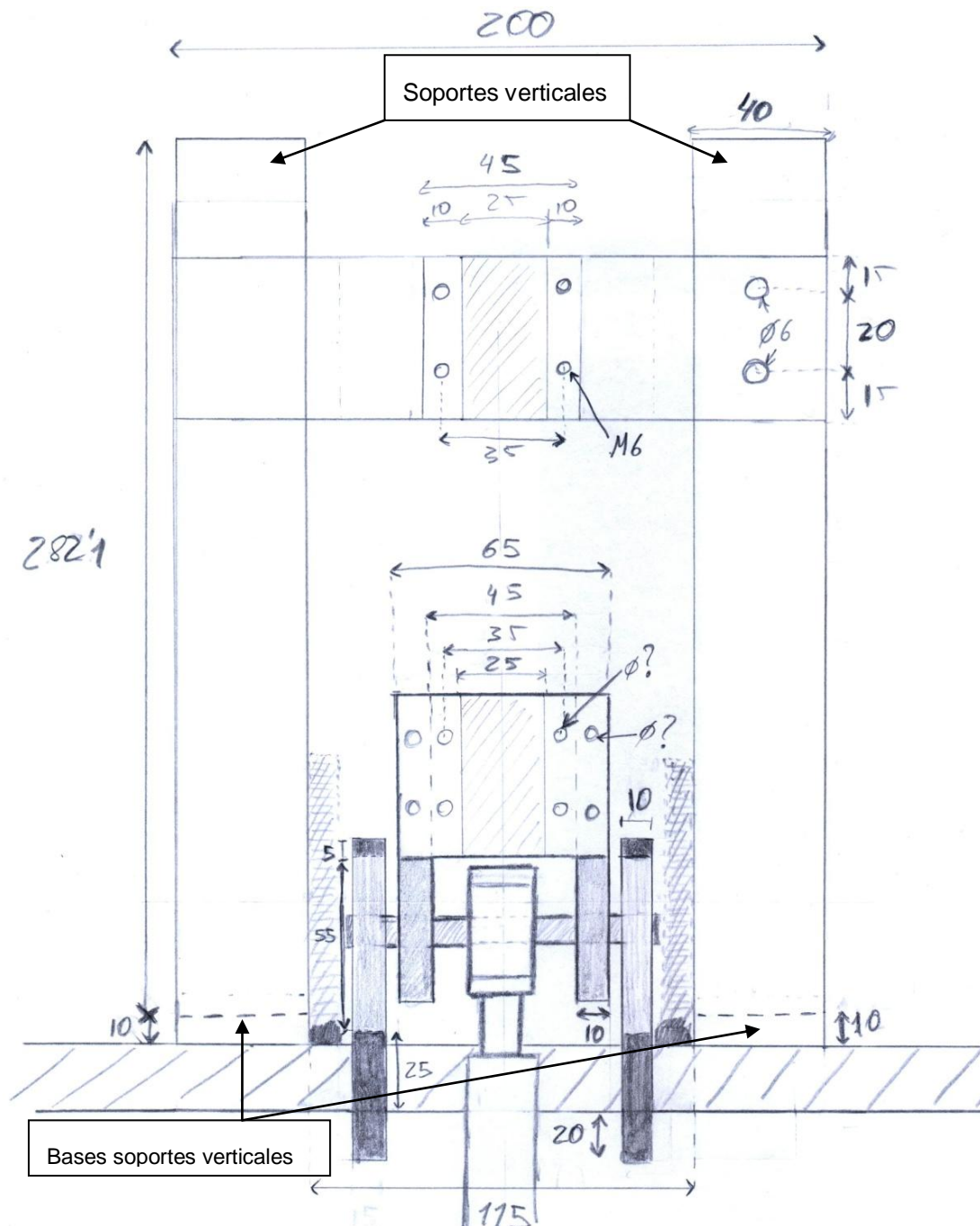


Figura 3.7-4. Boceto vista frontal máquina de fatiga a tracción.

Entre las medidas que se modifican de la anterior Figura 3.7-4, la cual está en la última fase de revisión para alcanzar el diseño crítico; está la anchura de los soportes verticales, que pasan de 40mm a 24mm. Este cambio se hizo pensando en que el espesor de estas piezas verticales va a ser de 10mm por motivos de disponibilidad del material en los talleres de la Universidad. En un principio, se diseñaron las piezas verticales de 20mm de grosor y 40mm de anchura para mantener los 282.1mm de altura necesarios para llevar a cabo los ensayos, pero como se acaba reduciendo el espesor tanto de estas piezas verticales como las de las bases sobre las que se atornillan y que, además, tienen una parte en voladizo; los 40mm de anchura suponen un peso añadido que es perjudicial para mantener la rigidez de la estructura.

El motivo de elegir 24mm tiene que ver con la distribución de los dos taladros de 6mm que se van a realizar en cada base de estas piezas verticales, de para que de esta forma quede una geometría simétrica y proporcional. En el siguiente punto se detallan los planos finales de estas piezas.

El boceto que aparece a continuación se hace pensando en un diseño más compacto, quedando el conjunto dentro de los soporte del eje fijo de la máquina original.

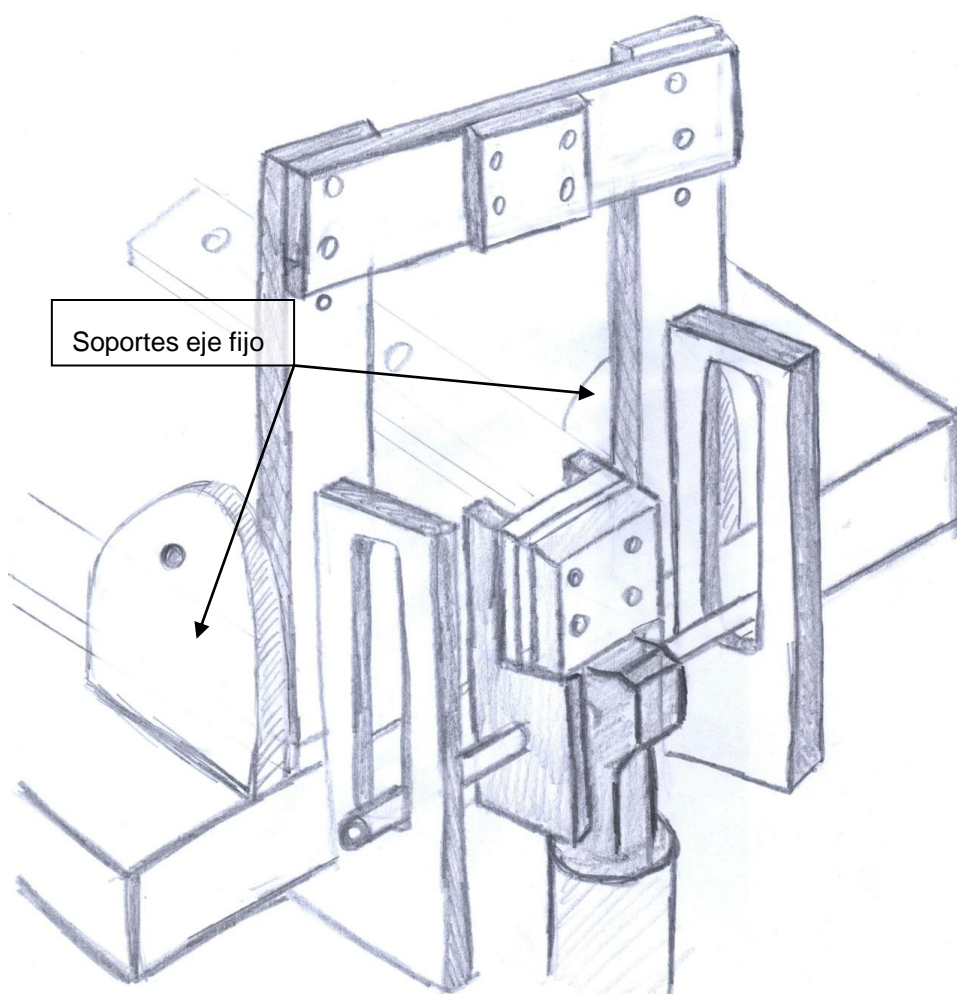
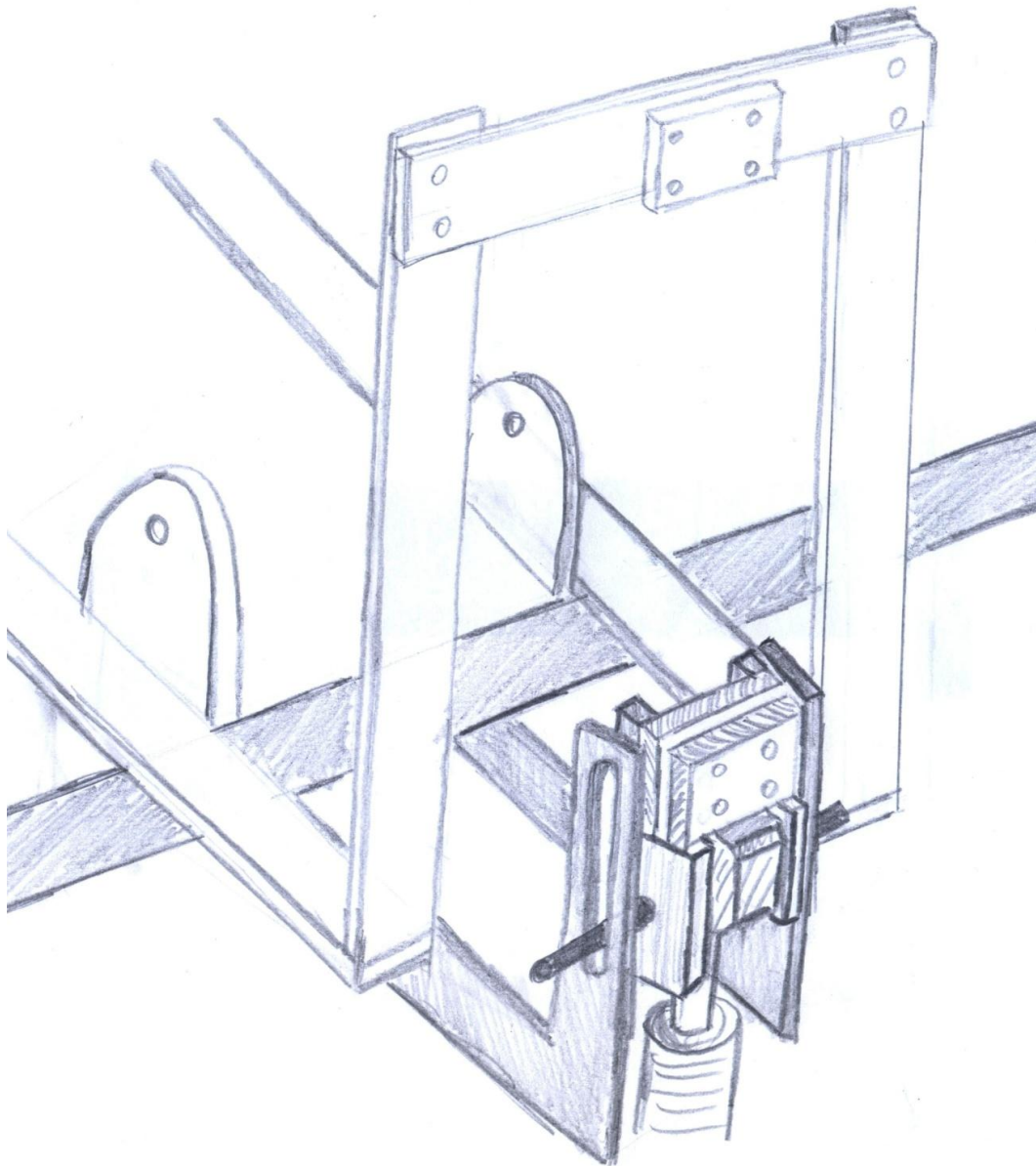


Figura 3.7-5. Boceto montaje compacto de máquina fatiga tracción.

El siguiente dibujo muestra cómo puede quedar el montaje de todo el conjunto.



Página 50

Tal y como se puede apreciar en los bocetos, la unión entre los soportes verticales y sus bases muestra cierta debilidad estructural para poder soportar los esfuerzos dada la evidente desproporción entre las longitudes de los mismos. Los soportes verticales alcanzan la nada despreciable altura de 282.1mm en comparación con la base de 24x10mm sobre la que se sustentan.

A su vez, el hecho de que las piezas sobre la que se atornillan estén en voladizo puede implicar la aparición de desplazamientos verticales en el extremo de ellas debido a los esfuerzos de tracción y al peso que se concentra en esa parte. Es por ello que para aportar rigidez a esta zona se decide colocar unas escuadras en el ángulo recto en la unión entre estas piezas. Estas escuadras aparecen en los planos de las piezas finales.

El punto de aplicación del esfuerzo de tracción está separado horizontalmente de los soportes verticales (A).

Si se considera el momento resultante de esta fuerza, y el axil que produce sobre el soporte vertical (B), se aprecia (en rojo) la magnitud del esfuerzo solicitado en la unión de 90° de la base (y en verde la que soporta la base del soporte vertical al estar atornillada sobre el bastidor).

Para ayudar a soportar estos esfuerzos, se añade una escuadra que amplía la superficie sobre la que repartirlos, favoreciendo de este modo que la rigidez de la máquina se vea mejorada.

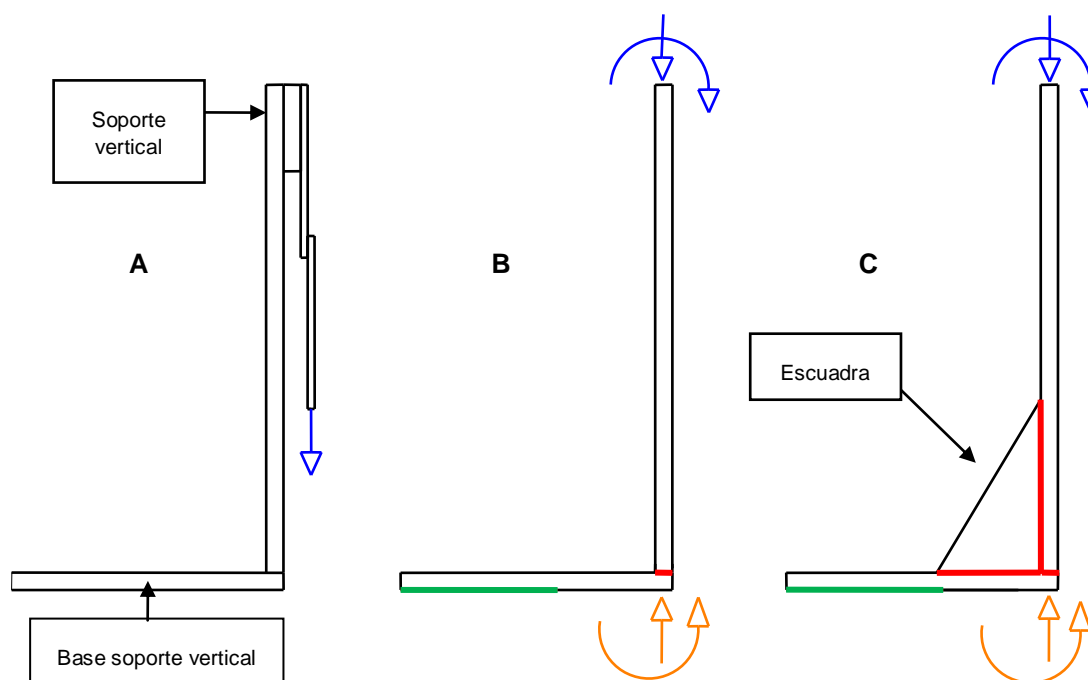


Figura 3.7-7. Diagrama estudio de cargas y esfuerzos.





En la Figura 3.7-7 se representa, a escala, cómo la escuadra ayuda a soportar mejor los esfuerzos de tracción que se aplican en el extremo superior de los soportes verticales. En la primera representación (A) aparecen las piezas que forman el soporte superior donde se fija la probeta, así como la fuerza de tracción que ejerce la máquina sobre propia probeta.

En la imagen del centro (B) el momento y el axil resultante del esfuerzo aplicados sobre el soporte vertical, aparecen en azul, mientras que en naranja aparecen las reacciones, y en rojo la parte de la unión que sufre estos esfuerzos.

En la última imagen (C) aparece representada la escuadra, así como la superficie sobre la que se reparten los esfuerzos. La longitud de esta superficie no deja dudas sobre el efecto beneficioso que la escuadra tiene sobre la estructura.





### 3.8 PLANOS DE LAS PIEZAS FINALES

A continuación se muestran los planos de las piezas finales que son el resultado del desarrollo que se ha llevado a cabo hasta alcanzar el diseño crítico definitivo, comentándose a su vez el porqué de sus dimensiones así como las variaciones que hayan podido sufrir.

Ante la falta de datos para poder conocer los esfuerzos que son transmitidos desde el motor a las fijaciones de la estructura, las uniones con el bastidor han sido sobredimensionadas para cumplir con las expectativas.

#### 3.8.1 Bases para los soportes verticales

La siguiente pieza que aparece representada forma las bases de los soportes verticales. Estas piezas de forma rectangular tienen una parte en voladizo, y sobre el extremo de ese voladizo se atornillan los soportes verticales.

En el plano de esta pieza se aprecian, en la parte superior, los agujeros de 6mm de diámetro que sirven para atornillar los soportes verticales. Estos taladros no tienen roscado.

Más abajo aparecen otros dos agujeros alineados y centrados en la mitad de la cara superior de la pieza, que tienen nuevamente 6mm de diámetro que tampoco tienen roscado, éstos son los necesarios para fijar la base de la escuadra.

De igual forma se observan otros dos agujeros centrados y alineados, a 66mm y a 12mm de la parte más baja, que poseen un roscado del tipo M10. Éstos sirven para unir esta pieza al bastidor, y el motivo de tener un diámetro mayor es que deben soportar una mayor solicitud de esfuerzos.

Esos esfuerzos que deben resistir, son los que se transmiten desde las probetas al realizar los ensayos, y el propio peso de las piezas que se colocan en el extremo. La parte que permanece apoyada sobre el bastidor es más de la mitad de la pieza, con una dimensión de 90.7mm, y quedando 66.3mm en voladizo. Es necesaria la fabricación de dos unidades de estas piezas.

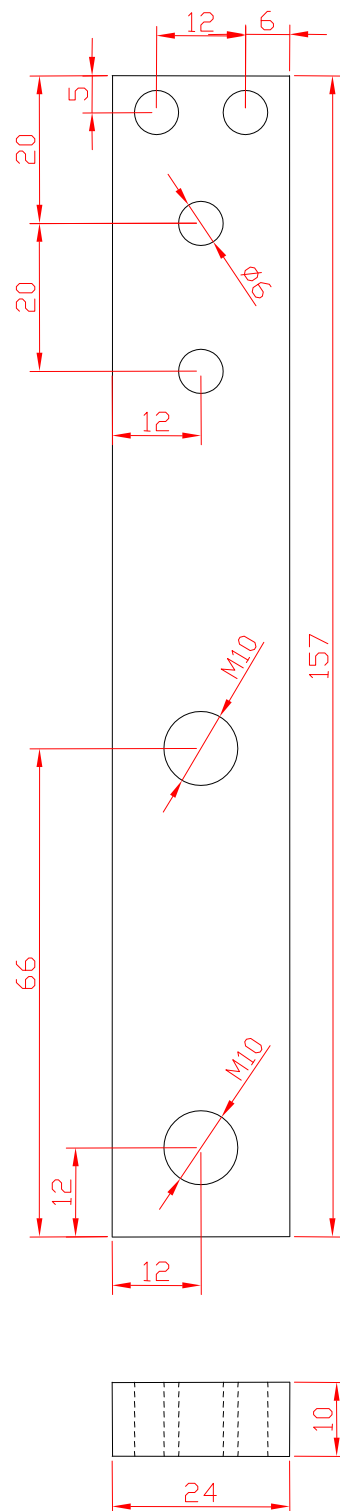


Figura 3.8.1-1. Vista en planta y frontal de la base de los soportes verticales.



### **3.8.2 Soportes verticales**

En la vista frontal de los planos de esta pieza, se observan en la parte superior cuatro taladros con rosca del tipo M6, que están centrados y alineados que son los que se emplean para atornillar la pieza transversal superior que sirve para fijar el extremo superior de las probetas. Para los ensayos de tracción más habituales, esta pieza transversal se atornilla en los taladros que se encuentran a 26.1mm y a 56.1mm de la parte superior.

Los ensayos que se van a hacer en la máquina, provocarán una elongación máxima estimada de 20mm, y para casos de elongación extrema se han hecho los otros dos taladros que distan 10 y 40mm del extremo superior. Las probetas que se fijen desde esa configuración se pueden llegar a elongar hasta 38mm, siendo éste el máximo recorrido que permite la biela.

En la parte más baja de la vista frontal de la pieza se observan otros dos taladros alineados y centrados de 6mm de diámetro sin rosca que distan 33mm entre sí, y teniendo el que está más abajo una distancia de 4mm con respecto al borde inferior de la pieza. Estos taladros sirven para atornillar la cara vertical de la escuadra.

En la vista de la base, aparecen otros dos taladros con rosca M6, y son los que unen esta pieza con el voladizo de las bases de estos soportes verticales. Es necesaria la fabricación de dos unidades de estas piezas.

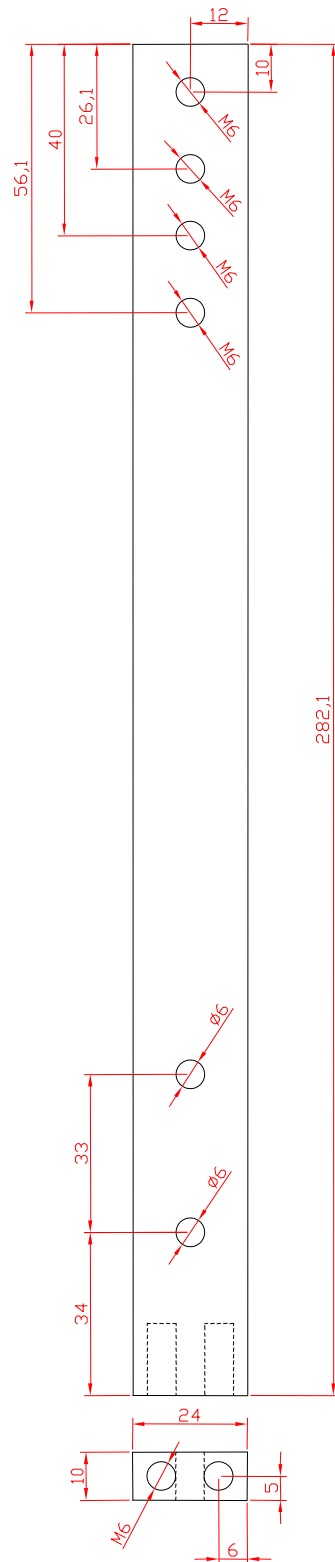


Figura 3.8.2-1 Vista frontal y de la base de los soportes verticales.

### 3.8.3 Escuadras para la unión del soporte vertical y su base

Para aportar rigidez a la estructura y asegurar un correcto desarrollo de los ensayos, así como para prolongar la vida útil de las uniones entre el soporte vertical y el voladizo sobre el que se atornillan, se colocan unas escuadras en el ángulo que forman esas uniones. De esta forma se evitan desplazamientos entre ellas, y se mantiene invariable el ángulo recto que forman.

Para diseñar esta pieza se ha procurado mantener un equilibrio entre sus dimensiones y su peso, dado que al estar colocada sobre la pieza en voladizo, el peso debe ser el mínimo posible. Las dimensiones elegidas se han hecho teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✗ La base de la escuadra no debe solaparse con los tornillos que fijan la base de los soportes verticales al bastidor y por ello tiene una longitud de 60mm, de forma que la escuadra no alcanza el taladro por donde pasa el tornillo más cercano al borde del bastidor.
- ✗ El lado vertical de la escuadra que se une a los soportes verticales, al no interferir con ningún tornillo, se ha podido alargar 40mm llegando a tener en total 100mm de altura. Al poder alcanzar una mayor longitud se consigue contrarrestar mejor los esfuerzos que sufre la unión debido a que tendrán mayor superficie donde repartirlos.

Las escuadras se colocan en el centro de las caras de las piezas denominadas: bases de los soportes verticales y soportes verticales. Al tener estas piezas un ancho de 24mm, y al ser el espesor de la escuadra de 10mm quedan a ambos lados de la escuadra 7mm. Es necesaria la fabricación de dos unidades de estas escuadras. Todos los taladros son roscados del tipo M6.

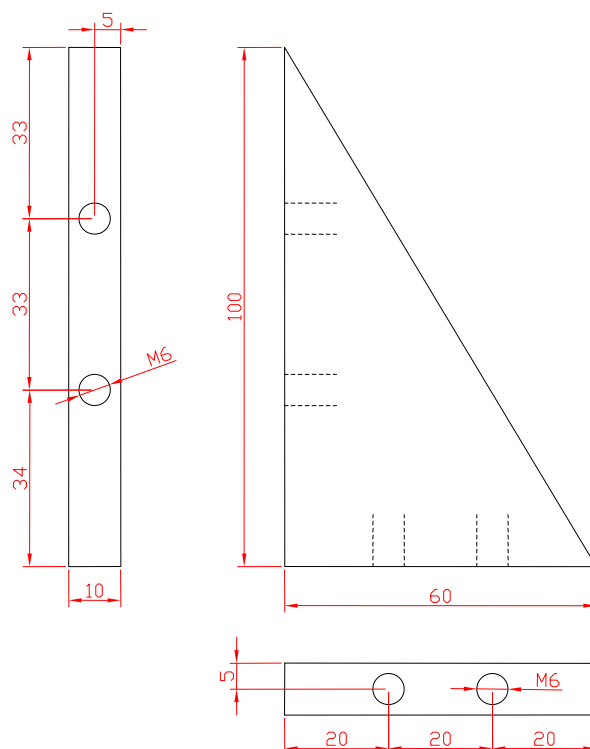


Figura 3.8.3-1 Escuadras. Vistas frontal, lateral y base de la escuadra.

### 3.8.4 Pieza transversal superior

La siguiente pieza va atornillada a la parte superior de los soportes verticales, y se emplea para la sujeción de las probetas por su extremo superior. Para ello se hace uso de los taladros que se encuentran a 12mm del borde lateral, y a 10mm de los extremos superior e inferior, los cuales no tienen rosca.

Los taladros centrales que distan 35mm según la horizontal, y 20mm según la vertical, son los que sirven para atornillar la placa que aprieta las probetas e impide su movimiento durante los ensayos. Las probetas se colocan entre estos taladros centrales, y poseen un roscado del tipo M6.

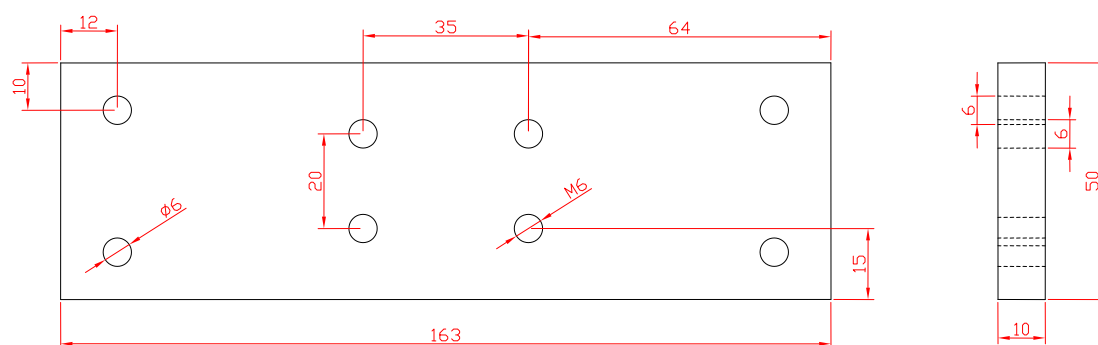


Figura 3.8.4-1 Vistas frontal y lateral de la pieza transversal superior.

Para fijar las probetas en su extremo superior hace falta una placa que se detalla más adelante y que se denomina placa plana para la retención de las probetas. Ésta se coloca delante de la pieza transversal, haciendo coincidir los cuatro taladros centrales con los cuatro que tiene esta otra pieza de retención, siendo inmovilizadas las probetas con cuatros tornillos que atraviesan dichos taladros.

### 3.8.5 Guías

Al tener acotados los desplazamientos que el bulón de la parte superior de la biela va a realizar, se observa que el punto más bajo que se alcanza no llega a tener una altura inferior a la parte más alta del bastidor. De hecho deja un margen de seguridad de más de 25mm entre ambas partes. Esto motiva un cambio en la geometría de las guías, que afecta tanto a sus medidas como a la forma de atornillarlas, y es que se van a colocar sobre la cara superior del bastidor, y no bajo esta. El principal beneficio que se obtiene es que se reduce la longitud vertical del tramo de la pieza que contiene las ranuras de la guía. Reducir este tramo implica aumentar la rigidez de la propia pieza, dado que se disminuye el peso que queda en voladizo, y a su vez el ángulo de 90° que tiene la pieza sufre menos concentración de tensiones al disminuir el momento que se genera en esa zona producto de fuerzas perpendiculares a la dirección del movimiento del bulón que atraviesa la guía.

Las guías tienen también una parte que se encuentra en voladizo, y el perfil de ellas conserva 20mm a lo largo de sus tramos vertical y horizontal. Se deben quedar en voladizo 84.3mm, quedando 114.7mm sobre el bastidor.

En el tramo vertical, este valor permite que se emplace la ranura de 10mm en su interior, mientras que, mantener esos 20mm en la parte que se atornilla al bastidor permite aportar rigidez a la pieza. Si se hubiese reducido esta medida a 10mm, como se pensó en un principio, se podrían generar esfuerzos que la parte horizontal no llegase a soportar, pudiendo llegar a colapsar y, finalmente, romper. Por ello se mantienen los 20mm en la parte horizontal.

Las guías son los principales elementos gracias a los cuales el esfuerzo de tracción consigue ser completamente vertical. Por ello se deben ajustar sus medidas al recorrido que tiene el bulón que atraviesa la parte superior de la biela. Para obtener el valor del punto más bajo del recorrido, se ajustan los discos de la salida del motor de forma que se obtengan los mayores desplazamientos. Con esa configuración se alcanzan los extremos superior e inferior máximos que el bulón puede alcanzar, y en función de ese recorrido se obtiene la longitud vertical de la guía, habiéndose añadido un pequeño margen para que el bulón no llegue a golpear los extremos de la guía.

Las medidas de la guía muestran que hay 5mm a ambos lados de la ranura a través de la cual el bulón hace su recorrido; y se considera dimensión aceptable para que se soporten los esfuerzos a los que se va a ver sometida esta pieza.

En caso de que el bulón tenga problemas para recorrer este espacio, se puede solucionar este inconveniente de las siguientes dos maneras:

- ✗ Aplicando un lubricante a la guía que facilite el desplazamiento del bulón.
- ✗ Aumentando unas micras el hueco de la guía que tiene que recorrer el bulón. Este mecanizado debe ser muy preciso ya que de lo contrario existirá demasiada holgura y el bulón golpearía contra la guía durante los ensayos en lugar de deslizarse a lo largo de ésta.



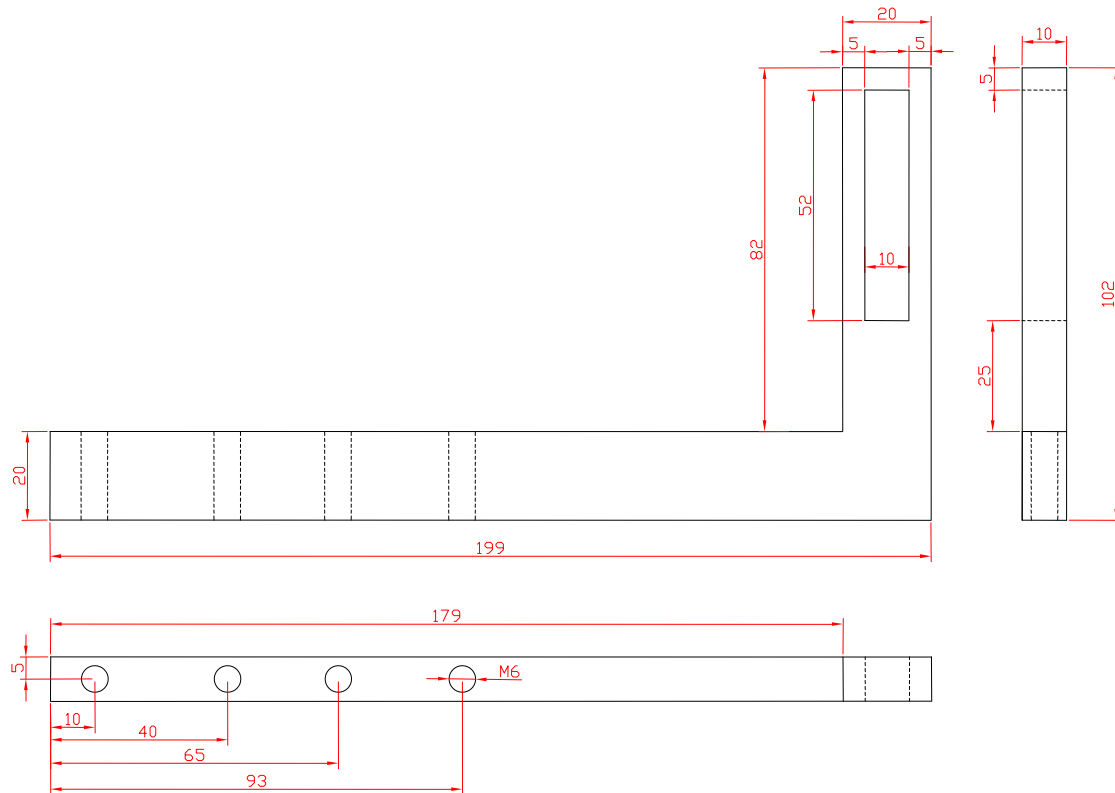


Figura 3.8.5-1. Vistas lateral, frontal y planta de las guías.

Todos los taladros del tramo horizontal que sirven para la unión con el bastidor tienen roscado M6.

Es necesaria la fabricación de dos unidades de las piezas que aparecen en la Figura 3.8.5-1.

Estas piezas, con forma de “L”, son las que están a ambos lados de la biela y permiten la unión entre la biela y la placa plana vertical donde se apoyan las probetas y sobre la cual son prensadas con otra placa por medio de unos tornillos de la misma forma que ocurre en la parte superior de la máquina.

Para unir estas piezas laterales con la placa plana, se emplean cuatro tornillos que unen los extremos superiores y la placa. En las vistas del plano de la pieza se observa que esos taladros con rosca M6 y que se encuentran en la cara de 50mm de alto por 10mm de ancho, la cual se distingue con facilidad en la vista frontal que aparece a la izquierda de la Figura 3.8.6-1. Es necesaria la fabricación de dos unidades de este tipo de pieza.

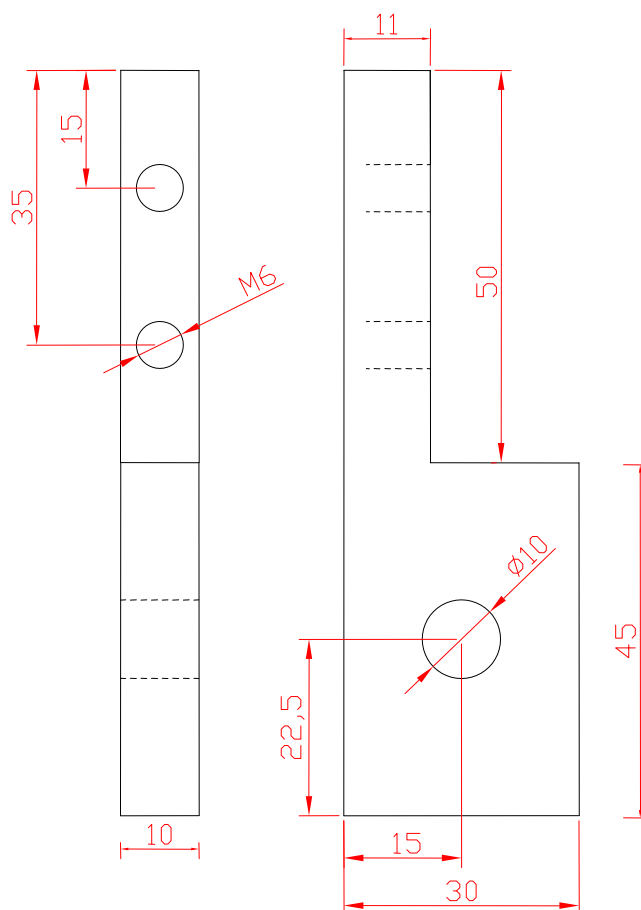


Figura 3.8.6-1. Vistas frontal y lateral de las piezas laterales del soporte móvil.

### 3.8.7 Placa plana del soporte móvil

Ésta es la placa que se atornilla a las piezas laterales que quedan a ambos lados de la biela. Posee cuatro taladros de 6mm de diámetro, sin rosca que son los que sirven para que pasen por ellos los tornillos que la unen a las piezas laterales. Estos taladros son los que tienen su centro a 5mm del borde lateral de la placa.

Los que quedan en el interior de la placa son los que atraviesan los tornillos que aprietan la parte inferior de la probeta, y tienen roscado M6. La fijación de las probetas se produce de igual forma que en el extremo superior.

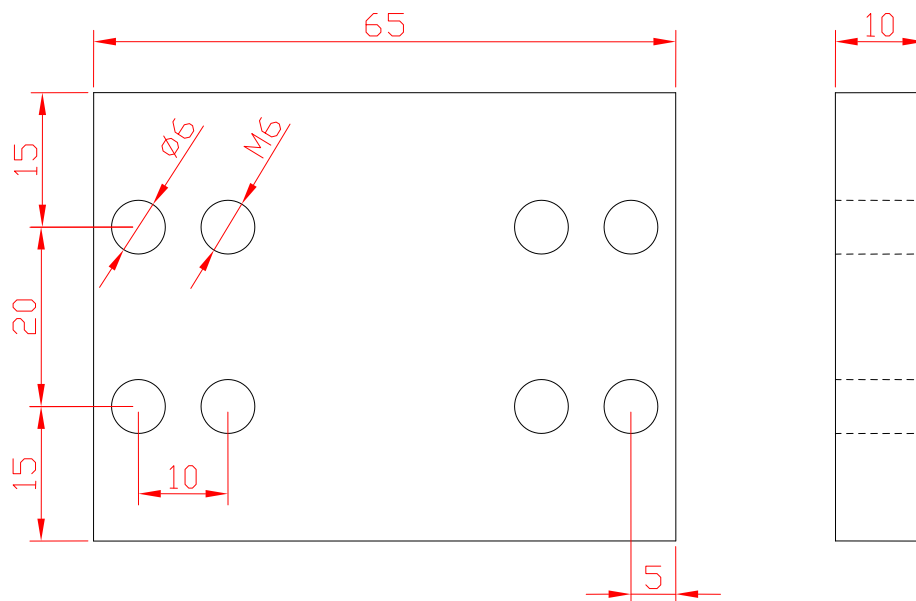


Figura 3.8.7-1 Vistas frontal y lateral de la placa plana del soporte móvil.

### 3.8.8 Placas planas para la retención de las probetas

La siguiente pieza es la que se emplea tanto en la parte superior como en la inferior de las probetas para fijarlas a la máquina. Es necesaria la fabricación de dos unidades de estas placas, colocándose enfrente de la pieza transversal superior y enfrente de la placa que une las piezas laterales con forma de "L", dejando entre medias el extremo de la probeta que se pretende fijar. .

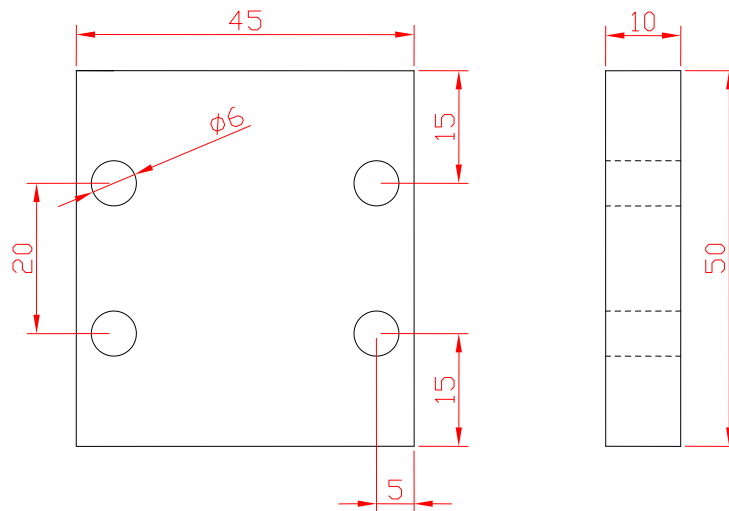


Figura 3.8.8-1 Vistas frontal y lateral de las placas planas para la retención de las probetas.

## 4. MONTAJE

En este capítulo se explica cómo se deben fijar las piezas al bastidor y entre ellas mismas. Para ayudar al montaje se incluyen tras la explicación unos planos con diferentes vistas del conjunto, habiendo hecho varias configuraciones que muestran claramente todas las piezas.

Las primeras piezas que se van a colocar son las bases de los soportes verticales. Su localización se encuentra a ambos lados de los soportes del eje fijo que están en la parte superior del bastidor, dejando entre los bordes interiores de las bases una separación de 115mm. Desde el borde del bastidor se debe quedar en voladizo una longitud de 66.3mm; teniendo que ser esta medida muy precisa, dado que en función a ella se coloca la probeta, y ésta debe estar alineada con el resto de la máquina. Se fijan a la base haciendo pasar un tornillo M10 desde la cara interior del bastidor, en cada uno de los cuatro taladros que se han tenido que hacer para fijar las bases. Al salir del bastidor se atornillan a los respectivos taladros roscados que poseen las bases. Los tornillos deben tener una longitud total mínima de 30mm.

En el extremo de estas bases que se encuentran en paralelo se encuentran los taladros para los tornillos que unen las bases a los soportes verticales. Se hace pasar un tornillo de abajo a arriba por cada uno de los taladros del extremo de las bases, los cuales no están roscados, atornillándose en la base de los soportes verticales (las cuales sí poseen un roscado M6 en su interior).

La pieza transversal superior se une a los soportes verticales mediante los taladros sin rosca que se encuentran en los laterales de la pieza, y quedan los cuatro del centro que tienen roscado M6 para la fijación de las probetas.

En el ángulo que forma la unión entre los soportes verticales y sus bases, se deben atornillar las escuadras que aumentan la rigidez del conjunto, quedando el cateto de 60mm de largo sobre la base, y el de 100mm en los soportes verticales. Los tornillos pasan por los taladros no roscados de la base y del soporte vertical, y se atornillan en los taladros roscados M6 que tienen las escuadras. Estos tornillos deben tener una longitud total de 20mm.

Para las guías se necesita nuevamente mucha precisión en su montaje, dado que en función de la distancia que quede en voladizo se conseguirá, o no, una alineación perfecta con la vertical que debe recorrer la biela. Se atornillan sobre el bastidor de la máquina quedando entre los soportes del eje fijo (con forma semicircular en tu parte superior), y dejando una separación entre ellas de 75mm. Esto implica que las guías quedarán pegadas a la cara interior de los soportes del eje fijo. La longitud que quedará sobre el bastidor será de 114.7mm y su voladizo debe ser de 84.3mm. La forma de atornillarlas es como la de las bases de los soportes verticales, es decir, se pasan tornillos desde el interior del bastidor hasta que salgan del mismo, y ahí será donde se atornillen a los respectivos agujeros roscados de las guías. Estos tornillos tipo M6 deben tener una longitud total mínima de 40mm.

Las piezas que se colocan en la biela se deben atornillar de la forma que viene explicada en los planos de estas piezas, y que se muestran ya montadas en la Figura 3.7-2 de forma que la placa de 65x50mm unirá los extremos superiores de las piezas laterales con forma de "L", y a través de ellas pasa el bulón que a su vez debe pasar por las guías. Los agujeros roscados para unir las piezas laterales del soporte móvil y la placa plana se hacen en las piezas laterales. Mientras que en la placa plana se hacen los taladros roscados necesarios para fijar las probetas. La longitud total de los tornillos para la unión debe ser menor de 20mm.

Para fijar las probetas se hace uso de las placas de 45x50mm, y son necesarios cuatro tornillos en cada placa para fijar las probetas durante los ensayos. La longitud de estos tornillos debe estar entre 25 y 20mm.

En todas las uniones hay un tramo que está sin roscar para que las piezas coincidan al hacer pasar el tornillo que las une.

Se recomienda hacer cuatro vaciados de 18mm de diámetro y 3mm de profundidad en el interior del bastidor para alojar las cabezas de los tornillos que unen las bases de los soportes verticales.

Se recomienda a su vez hacer avellanados para que las cabezas de los tornillos del resto de la máquina no sobresalgan de la superficie de las piezas.

El aconsejable limar las puntas de los tornillos que sobresalgan del bastidor por las uniones de las bases de los soportes verticales y de las guías, ya que pueden ocasionar molestias al trabajar y llegar a dañar a los operarios que trabajen con las máquinas.

A continuación se muestran las vistas de las piezas diseñadas montadas sobre el bastidor. Para ello se ha preferido separarlas en la parte móvil y la parte fija, y dentro de la parte fija se ha hecho una vista lateral de las guías por separado para no tener un número excesivo de piezas en la vista lateral. Para realizar el montaje sobre la máquina se deben seguir las instrucciones que se han dado en este capítulo de montaje, y las de los planos de las piezas.

En la siguiente Figura 4-1 se muestra el montaje de las guías sobre el bastidor.

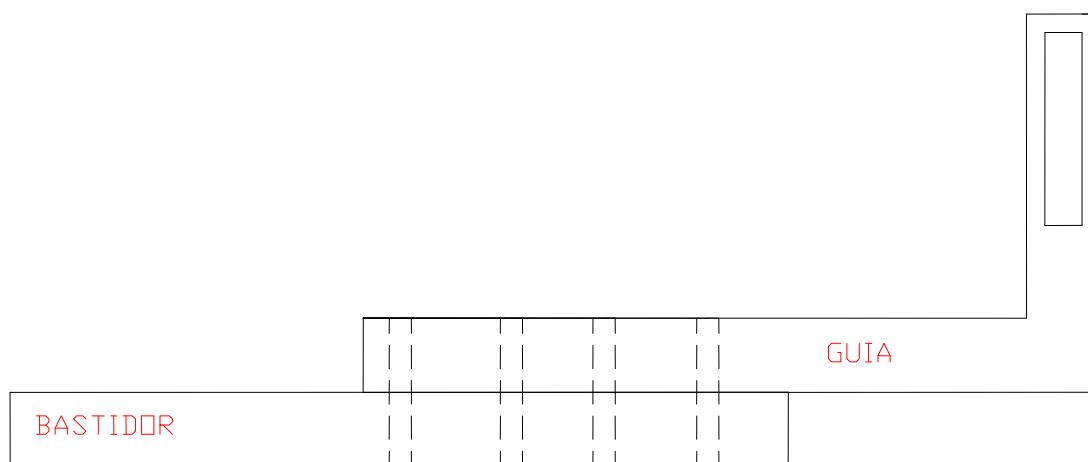


Figura 4-1 Vista lateral guía sobre bastidor.

El siguiente es el plano de los elementos fijos diseñados montados sobre el bastidor. Se incluye la probeta para tener una mejor visión del montaje.

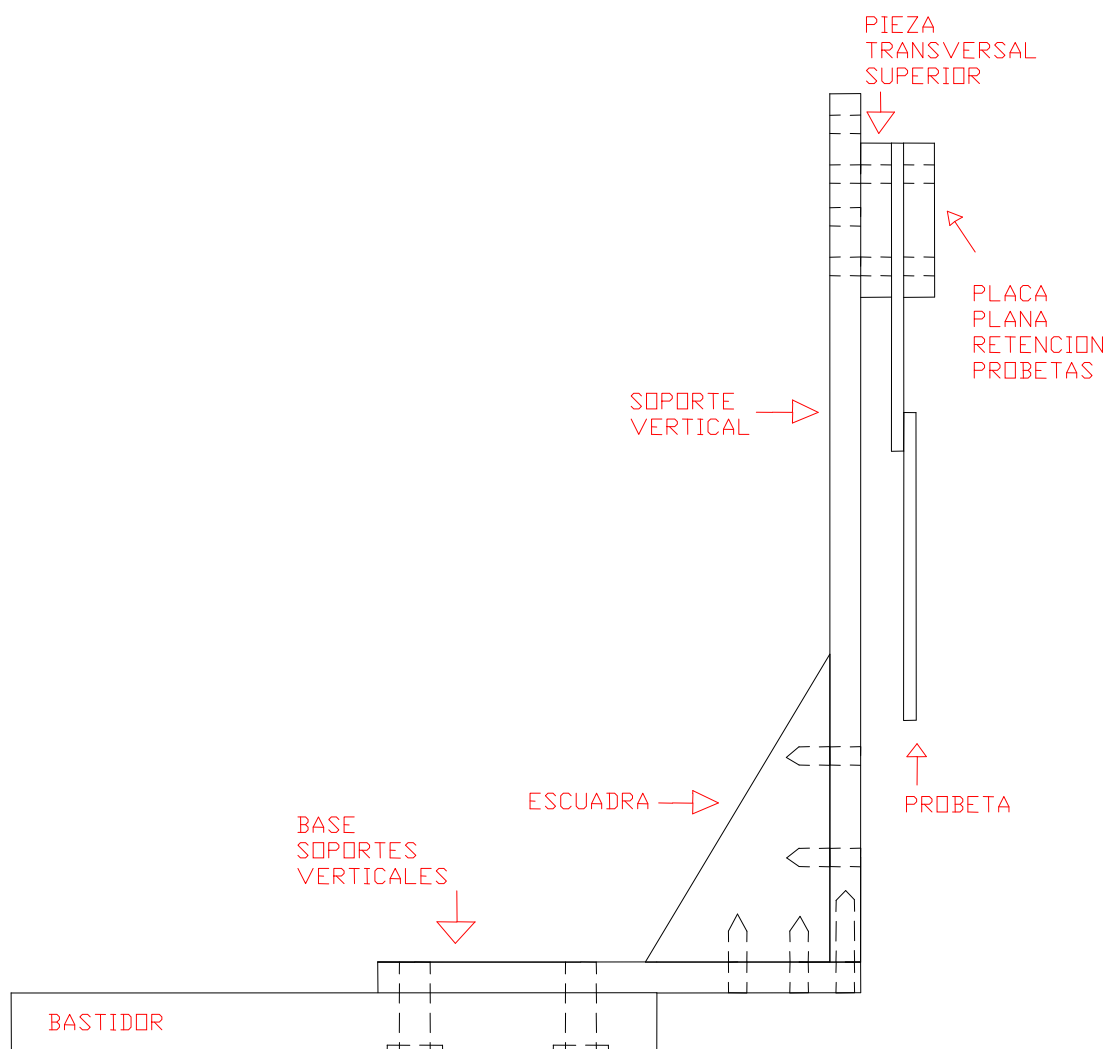


Figura 4-2 Vista lateral conjunto sin guía ni soporte móvil.



En esta vista se muestra el conjunto de todos los elementos fijos montados sobre el bastidor, incluyendo nuevamente la probeta.

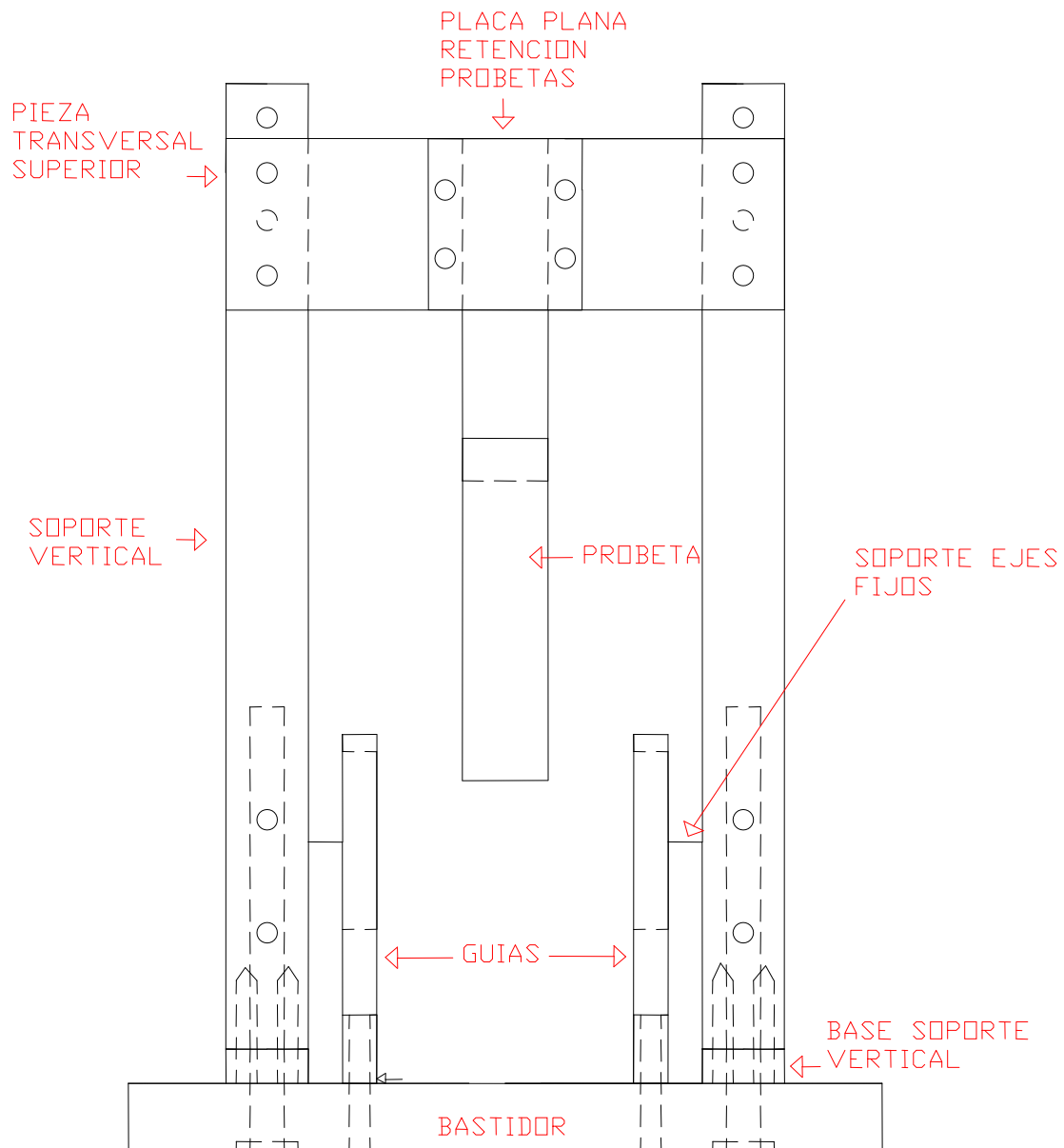


Figura 4-3 Vista frontal conjunto sin soporte móvil.

Las vistas del soporte móvil son las que aparecen a continuación.

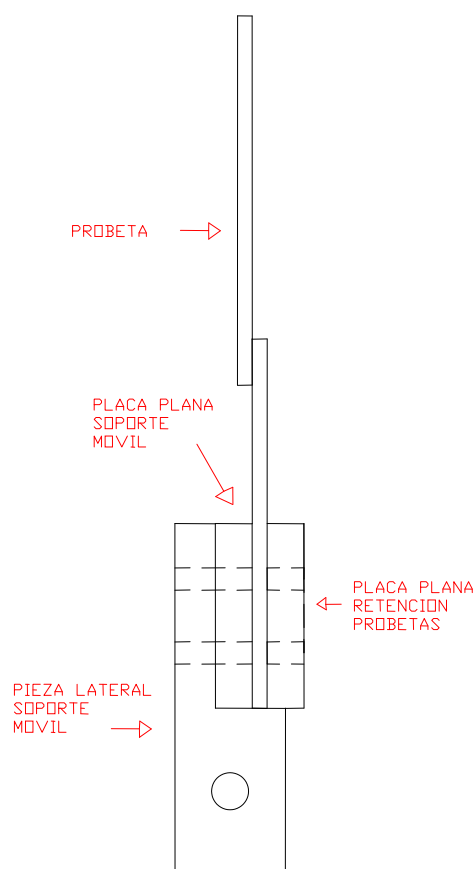


Figura 4-4 Vista lateral soporte móvil.

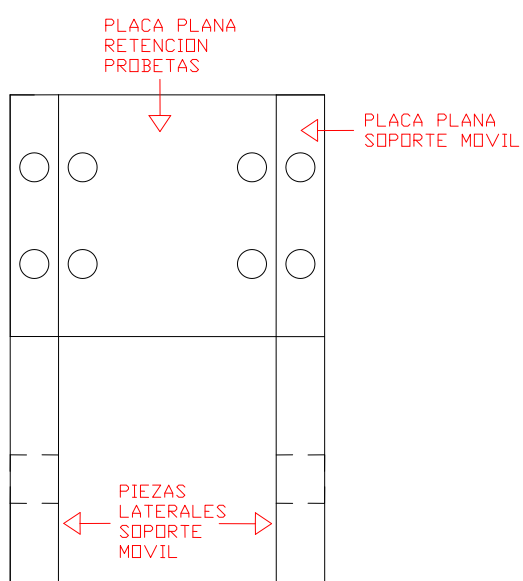


Figura 4-5 Vista frontal soporte móvil.

## 5. MANUAL DE USO

A continuación se dan las primeras instrucciones para trabajar con la máquina.

Las probetas que se fijan en la máquina de ensayos están sometidas a los esfuerzos que ejerce un motor a través de un mecanismo del tipo biela manivela. Este mecanismo se puede regular permitiéndose así escoger un desplazamiento vertical determinado para la biela, siendo el máximo desplazamiento permitido de 38mm. En los discos colocados a la salida del motor existe una escala graduada donde las medidas que aparecen deberían indicar el desplazamiento vertical de la biela. Como el disco pequeño que se tiene que girar para escoger la excentricidad que determine el desplazamiento vertical, y este giro se hace a lo largo de esta escala, es de suponer que las medidas que en él aparecen estarán reguladas de tal manera que el desplazamiento coincida con la magnitud que aparece indicada. Pero esto no es así, hay un error entre lo indicado en la escala graduada y el desplazamiento vertical real de la biela. En el siguiente gráfico se muestra la variación entre la medida en el disco, y el desplazamiento real.

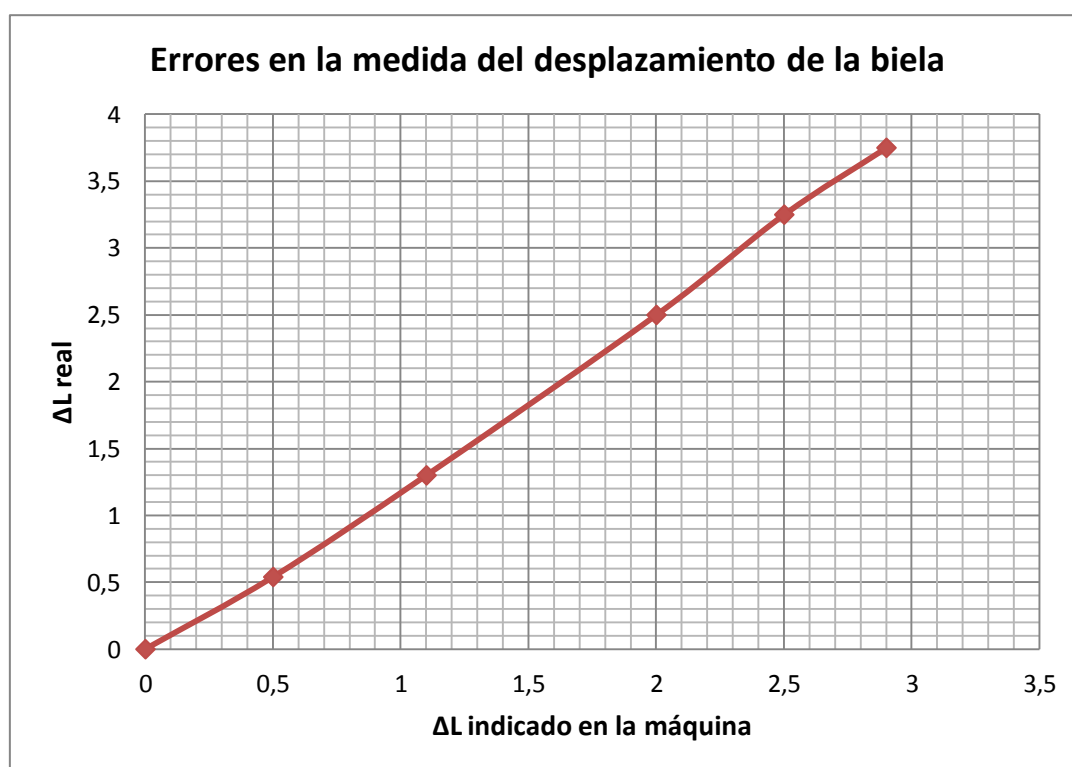


Figura 5-1 Gáfica: errores en la medida del desplazamiento de la biela.

La siguiente tabla Tabla 5-1 muestra los datos que han sido tomados para elaborar la gráfica.

Tabla 5-1 Valores indicado y real de la escala graduada.

Valor indicado (cm)	Valor real (cm)
0	0
0,5	0,54
1,1	1,3
2	2,5
2,5	3,25
2,9	3,75

Dada la irregularidad entre la medida indicada y el valor real, se recomienda que el desplazamiento vertical se ajuste midiendo directamente éste en la guía que recorre el bulón de la biela.

Para fijar las probetas a la máquina se hace uso de los tornillos y las placas de retención que se colocan sobre las probetas en su extremo inferior y superior, consiguiendo así la sujeción necesaria.

Una vez fijadas se pulsa el botón de encendido y en el panel de control se indica la velocidad de giro deseada del motor, y su tiempo de funcionamiento.

A continuación se pone en marcha el motor aplicando éste repetidos ciclos de tracción a las probetas.

### PRECAUCIÓN

Mientras el ensayo esté en proceso se debe guardar una distancia prudencial con la máquina de ensayos a fin de evitar daños personales, y evitar entorpecer el desarrollo del mismo.

Una vez terminado el ensayo ya sea porque se ha cumplido con el tiempo de fatiga que se desea estudiar a las revoluciones indicadas, o por la rotura de la probeta, se detiene el ensayo. Se pulsa el botón de apagado y se retiran las probetas.

### PELIGRO

En caso de emergencia pulsar la seta de parada de emergencia

## 6. PRESUPUESTO

Para realizar el proyecto se han diseñado unas piezas que serán extraídas mediante el mecanizado de las pletinas de acero que hayan sido compradas al proveedor de material. El técnico de los talleres de la Universidad Carlos III será el encargado de fabricar las piezas de acuerdo a los planos entregados en éste proyecto.

El precio de la fabricación de las piezas se desglosa en la siguiente tabla:

Tabla 6-1 Presupuesto.

Coste pletina de acero	54.83€
Coste de hora de trabajo	30€/h
Coste de fabricación total	30€/h x 30h = 900€
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>954.83€</b>

El presupuesto total de este proyecto asciende a una cantidad de **novecientos cincuenta y cuatro euros con ochenta y tres céntimos**.

Leganés a 21 de Octubre de 2011

El ingeniero proyectista: Ignacio José Poyán Benito



## **7. CONCLUSIONES**

En la elaboración del Proyecto Fin de Carrera se han podido extraer conclusiones de las que se ha aprendido a lo largo de la búsqueda de una solución ante el problema planteado.

En el caso que se presenta, para realizar la modificación de un equipo de fatiga, es necesario estudiar la situación inicial en la que se encuentra la máquina. Para encontrar una solución al problema, extraer ideas del anterior diseño que se puedan aplicar al nuevo, poder definir los objetivos y aprovechar tanto componentes como mecanismos del anterior diseño, es primordial hacerlo conociendo la base sobre la que se trabaja.

En este trabajo, se han empleado de la máquina original elementos como el motor eléctrico del que se obtendrán los movimientos que serán transmitidos a las probetas; empleando para ello el conjunto de discos que se encuentran en la salida del motor, y que permiten obtener un mecanismo del tipo biela-manivela regulable para conseguir distinta magnitud en los movimientos a los que son sometidas las probetas. También se ha mantenido la disposición del bastidor en el nuevo diseño, adaptando la posición de las probetas y del resto de elementos a la geometría del mismo.

Para encontrar soluciones es necesario buscarlas yendo directamente al objetivo y simplificando el proceso de diseño, así como su funcionamiento, pero también es beneficioso inspirarse en mecanismos que se encuentran en nuestro alrededor, como es el caso de los motores de explosión, de donde se extrajo su funcionamiento para elaborar un prototipo del que se obtuvieron útiles conclusiones para el nuevo diseño.

Antes de iniciar un proyecto se deben establecer los principales condicionantes que determinen las decisiones de selección de las diferentes propuestas. En nuestro caso: disponibilidad de materiales, posibilidad de mecanizado de las piezas, reversibilidad de la máquina a la configuración original, propiedades físicas de los materiales usados para garantizar robustez estructural, facilidad de montaje, costes, etc.

Con la experiencia adquirida en este diseño se profundiza en las diferentes fases necesarias para realizar una modificación o mejora en cualquier tipo de maquinaria. Estas son: el diseño conceptual, el diseño preliminar, y el diseño crítico.

Los diseños que se han hecho, y aunque no haya quedado plasmada la presencia de cada uno de ellos en el resultado final, sirvieron de manera indudable para perfilar el diseño definitivo de las piezas. Por ello se puede afirmar que cada prototipo ha tenido importancia en el proceso, y que en conjunto han mostrado qué caminos hacen mejorar el diseño conceptual y cuáles no deben ser seguidos.

El proceso de selección o exclusión de los prototipos de los primeros diseños conceptuales, hace madurar el desarrollo hasta llegar a obtener un diseño preliminar que tendrá gran semejanza con el modelo final. El diseño preliminar es aquel en el que se pueden hacer las primeras pruebas, así como las modificaciones necesarias que consigan obtener el diseño crítico.

Este diseño crítico se debe ajustar a los requisitos que el modelo final exige para cumplir con el cometido para el que está diseñado.

Ante todo, en este proceso de selección, se debe destacar que la viabilidad de cualquier idea de diseño debe ser valorada y estudiada antes de ser descartada.

## DISEÑO DE LA MODIFICACIÓN DE EQUIPOS DE FATIGA



Para poder escoger las piezas finales, así como determinar su emplazamiento definitivo en la máquina, se ha comprendido la necesidad de hacer balance entre varios puntos, ya que centrar el diseño sólo en uno hará que el conjunto esté desequilibrado. La siguiente lista hace referencia a algunos de estos puntos:

- ✗ La sencillez del funcionamiento del mecanismo.
- ✗ La comodidad del montaje.
- ✗ La simplicidad en la geometría de las piezas para así poder fabricarlas fácilmente.
- ✗ La consistencia de las piezas y de sus uniones.
- ✗ La ligereza de la estructura que esté suspendida (soporte móvil) o en voladizo.

Cumpliendo estos puntos se consigue facilitar el manejo del equipo, hacer recambios de forma rápida, prolongar la vida útil del equipo, conseguir un correcto funcionamiento de la máquina, y precisión para realizar los ensayos manteniendo en todo momento la estabilidad y la rigidez del conjunto.

Existen otros puntos que deben tenerse presentes a lo largo del desarrollo, como son las posibles interferencias mecánicas entre los elementos móviles de la máquina. Estas interferencias deben ser estudiadas de forma previa a la fabricación y al montaje de las piezas.

En cuanto a rediseñar un equipo de ensayos para establecer otra configuración que consiga realizar otro tipo de estudios sobre las probetas, permite ahorrar dinero en inversión y reservarlo para adquirir otros equipos de medida y ensayo.

También se debe comentar la importancia de sobredimensionar las uniones entre las piezas, así como las dimensiones de las mismas, cuando se carece de datos experimentales que puedan indicar unas medidas más ajustadas a las exigencias de la máquina. Y es que ante la inexistencia de ensayos anteriores en la máquina diseñada, se desconoce el esfuerzo al que se va a ver sometida la estructura, estando este esfuerzo en función de la potencia del motor y de la resistencia a la tracción que ofrezcan las probetas.

Con este Proyecto Fin de Carrera se ha aprendido la importancia de distribuir el trabajo y planificar cada fase de desarrollo del mismo evaluando el tiempo que conlleva cada una. Estas fases van desde comprender el problema que se va a resolver, la elaboración de las diferentes alternativas, el profundo análisis de cada una de ellas así como del conjunto para que el estudio derive en la solución más favorable. También se debe explicar la aplicación de esta solución, hacer una redacción clara y ordenada del documento donde se recoja el proceso seguido, y realizar una exposición lógica y estructurada que sintetice el trabajo.





---

## **8. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO**

Se indican a continuación posibles cambios que puede necesitar el equipo en un futuro, así como mejoras posibles en la realización de los ensayos.

Con el mecanismo en funcionamiento se puede desarrollar el dispositivo para la toma de datos existente en el bastidor de la máquina y que no tiene aplicación en los ensayos de fatiga a tracción, para que tome datos de los ensayos que se realicen y puedan ser estudiados posteriormente.

Más adelante, cuando el equipo haya sido montado, se podrá observar la precisión del montaje y si fuese necesario se harían los ajustes que permitan ubicar mejor las piezas para un correcto funcionamiento de la máquina. Entre estas modificaciones, una parte que puede dar problemas es la del bulón que recorre las guías; pudiendo conseguir mayor holgura entre el bulón y la ranura que recorre aumentando la tolerancia entre ambas piezas, o aplicando lubricante (o grasa lítica multifuncional) que facilite el deslizamiento entre ambos elementos.

Con las probetas fijadas y realizando ensayos sobre ellas, se podrá observar si las uniones entre las piezas son capaces de soportar los esfuerzos que se transmiten, y en caso de necesitarlo aumentar la longitud de las bases o incrementar el número de tornillos que las unan al bastidor.

Por otro lado pueden existir problemas para fijar las probetas, para ello podría ser útil moletear las superficies sobre las que se fijan las probetas para incrementar su rugosidad y evitar el deslizamiento entre las probetas y la máquina.

Como medida de seguridad se puede instalar una vitrina de metacrilato que envuelva la máquina e impida interferir en los ensayos, permitiendo no obstante la visualización de los mismos.



---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Para realizar el Proyecto se han visitado páginas de internet que ofrecen información sobre materiales como el acero, el aluminio, grasas industriales... Se obtiene la información entre los días del 17 al 21 de octubre de 2011, a partir de los siguientes enlaces .

<http://www.celen.com/en/grasas-industriales-generales.php>

<http://www.construmatica.com/construpedia/Acero>

[http://www.construmatica.com/construpedia/Cuadro\\_Comparativo\\_Acero-Aluminio](http://www.construmatica.com/construpedia/Cuadro_Comparativo_Acero-Aluminio)

<http://www.indexal.com/?q=node/32>

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/propiedades-del-acero.html>

<http://www.arqhys.com/arquitectura/acero-propiedades.html>

<http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelAcero&LN=ES>

<http://es.scribd.com/doc/43384366/Aceros-Al-Carbono-y-Aceros-Especiales-Normas-Une>